



TESIS - SF185301

ANALISIS STRUKTUR DAN SIFAT OPTIK LAPISAN TIPIS KARBON AMORF DARI NIRA KELAPA

DIAJENG INDRASWARY PAMUNGKAS
NRP 01111750010011

DOSEN PEMBIMBING
PROF. DR. DARMINTO, M.SC

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MATERIAL
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2019



TESIS - SF185301

ANALISIS STRUKTUR DAN SIFAT OPTIK LAPISAN TIPIS KARBON AMORF DARI NIRA KELAPA

DIAJENG INDRASWARY PAMUNGKAS
NRP 01111750010011

DOSEN PEMBIMBING
PROF. DR. DARMINTO, M.SC

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MATERIAL
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019



THESES - SF185301

**STRUCTURAL ANALYSIS AND OPTICAL
PROPERTIES OF AMORPHOUS CARBON
THIN FILMS FROM COCONUT SAP**

DIAJENG INDRASWARY PAMUNGKAS
NRP 01111750010011

SUPERVISOR
PROF. DR. DARMINTO, M.SC

MASTER PROGRAM
FIELD OF CERAMIC MATERIAL
DEPARTEMENT OF PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Sains (M.Si)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Diajeng Indraswary Pamungkas

NRP: 01111750010011

Tanggal Ujian : 19 Desember 2018

Periode Wisuda : Maret 2019

Disetujui Oleh:

1. Prof. Dr. Darminto, M.Sc
NIP 19600303 198701.1.002

(Pembimbing)

2. Prof. Suminar Pratapa, Ph.D.
NIP 19660224 199002.1.001

(Penguji)

3. Dr. Mashuri, M.Si
NIP 19691216 199402.1.001

(Penguji)

Dekan Fakultas Sains

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Prof. Dr. rer.nat Agus Rubiyanto, M.Eng., Sc.
NIP: 19650619 198903 1 001

ANALISIS STRUKTUR DAN SIFAT OPTIK LAPISAN TIPIS KARBON AMORF DARI NIRA KELAPA

Nama : Diajeng Indraswary Pamungkas
NRP : 01111750010011
Pembimbing : Prof. Dr. Darminto, M.Sc

Abstrak

Lapisan tipis karbon amorf telah berhasil disintesis dengan menggunakan nira kelapa sebagai bahan dasar. Metode yang digunakan adalah metode pemanasan dengan teknik deposisi *spin coating*. Variasi yang digunakan dalam penelitian adalah bahan, temperatur dan pelarut. Bahan yang digunakan antara lain nira, legen dan gula kelapa dengan temperatur pemanasan 400°C dan 600°C. Pelarut yang digunakan adalah akuades dan DMSO. Karakterisasi yang digunakan antara lain x-ray difraktometer, FTIR, PES, SEM-EDX, spektroskopi UV-VIS dan metode *four-point probe*. Pola difraksi menunjukkan terbentuknya puncak lebar pada $2\theta = 23^\circ$ yang menandakan fasa yang terbentuk adalah karbon amorf. Analisis FTIR menunjukkan ikatan molekular yang terkandung dalam sampel dengan pelarut akuades adalah =C-H, C-O, C-H, N-O, C=C dan O-H sedangkan pada sampel dengan pelarut DMSO =C-H, C-O, SO₂, S-O, C=C, S-H, C-H dan O-H. Hasil analisis PES menunjukkan konsentrasi konfigurasi sp² didalam sampel berkisar antara 52%-90%. Hasil analisis EDX menunjukkan bahwa kandungan utama dari keempat sampel adalah karbon dan oksigen selain itu juga terdapat pengotor. Struktur morfologi diketahui melalui karakterisasi SEM menunjukkan struktur lempengan serta bongkahan. Spektroskopi UV-VIS digunakan untuk mengukur energi gap dan menghasilkan 0,6 eV – 1,4 eV. Konduktivitas listrik diukur dengan menggunakan metode *four-point probe* dan menghasilkan 3,33 S/m – 6,39 S/m.

Kata kunci : Karbon amorf, Energi gap, Konduktivitas, Struktur.

STRUCTURAL ANALYSIS AND OPTICAL PROPERTIES OF AMORPHOUS CARBON THIN FILMS FROM COCONUT SAP

Name : Diajeng Indraswary Pamungkas
NRP : 01111750010011
Supervisor : Prof. Dr. Darminto, M.Sc

Abstract

The amorphous carbon thin films have been successfully synthesized by using coconut sap as raw materials. Method used in this research was hot drying method with spin-coating technique deposition. Variation used were material, heating temperature and solvent. The materials used include coconut sap, sugar and coconut sugar with heating temperature at 400°C and 600°C. The solvents used are aquades and DMSO. Characterization used were X-ray Diffractometry, FTIR, PES, SEM-EDX, UV-VIS spectroscopy and four-point probe method. Diffraction pattern shows a broad peak at $2\theta = 23^\circ$ indicate the phase formed is amorphous carbon. Based on FTIR analysis shows several molecular bonding on sample with aquades as solvent is =C-H, C-O, C-H, N-O, C=C and O-H whereas on sample with DMSO as solvent is =C-H, C-O, SO₂, S-O, C=C, S-H, C-H and O-H. PES analysis shows concentration of sp² configuration resulting in 52%-90%. The EDX analysis shows that the main content of the sample prepared are carbon, oxygen, and minor impurities. The morphological structure obtained from SEM observation shows structures displaying sticky slab and chunk structure. UV-VIS spectroscopy was used to measure the band gap resulting 0,6 eV – 1,4 eV. Electrical conductivity was measured using four-point probe method resulting 3,33 S/m – 6,39 S/m, respectively.

Keywords: Amorphous carbon, Conductivity, Gap Energy, Structure.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tesis di jurusan Fisika Fakultas Sains ITS dengan judul:

“Analisis Struktur Morfologi dan Sifat Optik Lapisan Tipis Karbon Amorf dari Nira Kelapa”

Penulis menyadari bahwa terselesainya penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Darminto M.Sc selaku dosen pembimbing yang sangat luar biasa dalam memberi dukungan, bimbingan, dan wawasan sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tesis.
2. Bapak Prof. Suminar Pratapa, Ph.D dan Bapak Dr. Mashuri M,Sc selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah memberikan pemahaman lebih mengenai Tesis.
3. Kedua orang tua tercinta yang telah memberi pengajaran dan pemahaman terbaik bagi penulis sejak kecil sampai dewasa.
4. Bapak Dr. Yono Hadi P., M. Eng dan Prof. Dr. Bagus Jaya Santosa, selaku Ketua Jurusan dan Ketua Prodi S2 Jurusan Fisika Fakultas Sains ITS yang telah memberikan kemudahan sarana selama kuliah sampai terselesainya Tesis ini.
5. Teman satu bimbingan dan seperjuangan yaitu Mukarromah, terimakasih atas semangat dan perjuangan yang telah kita lewati dalam menyelesaikan Tesis ini.
6. Dr. Retno Asih yang telah membantu penulis dalam hal berdiskusi mengenai Tesis.
7. Segenap teman-teman S2 Fisika yang telah memberikan dukungan terbaik untuk penulis dan mengisi keseharian penulis dengan keceriaan dan kerjasama selama masa belajar Penulis.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan laporan ini terdapat kesalahan. Sehingga penulis meminta kritik dan saran pembaca yang dapat membantu untuk menyempurnakan laporan ini. Akhir kata semoga Tesis ini bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II.....	5
LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Kelapa.....	5
2.2 Nira.....	6
2.3 Karbon Amorf	7
2.4 <i>Photo Emission Spectroscopy</i>	11
2.5 Konsep Pita Energi	14
2.6 Analisis Karbon Amorf menggunakan Spektroskopi Inframerah	16
BAB III.....	19
METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Alat dan bahan.....	19

3.1.1	Alat.....	19
3.1.2	Bahan.....	19
3.2	Metodologi Penelitian	19
3.2.1	Sintesis Serbuk Karbon	19
3.2.2	Sintesis Lapisan Tipis Karbon	19
3.2.3	Identifikasi Fasa	20
3.2.4	Pengukuran Konduktivitas (<i>Four Point Probe</i>).....	20
3.2.5	Identifikasi Ikatan Gugus Fungsi (FTIR).....	20
3.2.6	Pengukuran Energi Gap (UV-VIS)	20
3.2.7	Pengukuran Konsentrasi Hibrida (PES).....	21
3.2.8	Pengukuran Ukuran Partikel (PSA)	21
3.2.9	Identifikasi Struktur Morfologi (SEM)	21
3.3	Diagram alir penelitian.....	22
BAB IV		25
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN		25
4.1	Analisis Data Difraksi	25
4.2	Analisis Ikatan Gugus Fungsi	28
4.3	Analisis Ukuran Partikel	32
4.4	Analisis Konsentrasi Hibrida	34
4.5	Analisis Konduktivitas Listrik dan Energi Gap	38
4.6	Analisis Struktur Morfologi dan Kandungan Unsur	42
BAB V.....		45
KESIMPULAN DAN SARAN.....		45
5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA		47
LAMPIRAN.....		49
BIOGRAFI PENULIS		60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Jenis-jenis tanaman palmae	5
Gambar 2. 2 Air nira kelapa	6
Gambar 2. 3 Struktur kristalin dan amorf	8
Gambar 2. 4 Ikatan hibridisasi sp^1 , sp^2 , sp^3	9
Gambar 2. 5 Diagram fasa terner ikatan karbon amorf-hidrogen	10
Gambar 2. 6 Mekanisme fotolistrik dalam pengujian PES (Takayama, 2015).....	12
Gambar 2. 7 Kurva hasil pengujian PES(Mansour, 2011).....	13
Gambar 2. 8 Grafik C1s pada lapisan DLC	14
Gambar 2. 9 Pita energi zat padat	15
Gambar 3. 1 Skema Pelaksanaan penelitian secara umum	22
Gambar 3. 2 Skema pembuatan serbuk karbon.....	23
Gambar 4. 1 Pola Difraksi sampel dengan temperatur pemanasan 400°C.....	25
Gambar 4. 2 Pola Difraksi a) KCl, b) Modified Multiwalled Carbon Nanotubes (MWCNTs) dengan KCl, c) MWCNTs dan KCl yang disintesis dengan menggunakan katalis Co/Ni	26
Gambar 4. 3 Pola Difraksi sampel dengan temperatur pemanasan 600°C.....	27
Gambar 4. 4 Spektra inframerah NK400	28
Gambar 4. 5 Spektra inframerah NKD 400.....	28
Gambar 4. 6 Spektra inframerah NK600	29
Gambar 4. 7 Spektra inframerah sampel NKD600	30
Gambar 4. 8 Distribusi ukuran partikel NK400	33
Gambar 4. 9 Distribusi ukuran partikel GKD400	34
Gambar 4. 10 Hasil fitting puncak C1s NK400	35
Gambar 4. 11 Hasil fitting puncak C1s NKD400	36
Gambar 4. 12 Spektrum UV-VIS LK600	41
Gambar 4. 13 Struktur morfologi NK400 dengan perbesaran 10.000x	42
Gambar 4. 14 Struktur morfologi GKD400 dengan perbesaran 1.000x	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kandungan nira kelapa (Rumokoi, 1990)	7
Tabel 2. 2 Karakteristik beberapa kelompok karbon amorf (Robertson, 2002)....	10
Tabel 2. 3 Energi ikat pada kurva C1s	13
Tabel 2. 4 Referensi bilangan gelombang pada tiap jenis mode vibrasi	16
Tabel 4. 1 Ikatan gugus fungsi sampel dengan temperatur pemanasan 400°C pelarut akuades	29
Tabel 4. 2 Ikatan gugus fungsi sampel dengan temperatur pemanasan 400°C pelarut DMSO	30
Tabel 4. 3 Ikatan gugus fungsi sampel dengan temperatur pemanasan 600°C pelarut akuades	31
Tabel 4. 4 Ikatan gugus fungsi sampel dengan temperatur pemanasan 600°C pelarut DMSO	31
Tabel 4. 5 Data ukuran partikel hasil pengujian PSA	34
Tabel 4. 6 Parameter fitting puncak C1s	36
Tabel 4. 7 Data hasil perhitungan konsentrasi sp^2 pada puncak C1s	37
Tabel 4. 8 Klasifikasi material berdasarkan nilai konduktivitas listrik.....	38
Tabel 4. 9 Data konduktivitas listrik hasil pengukuran menggunakan <i>four-point</i> <i>probe</i>	39
Tabel 4. 10 Nilai energi gap beberapa material semikonduktor (Mikrajuddin, 2010)	40
Tabel 4. 11 Data energi gap hasil pengukuran menggunakan spektroskopi UV-VIS	41
Tabel 4. 12 Data kandungan unsur GKD400	44

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN	49
----------------	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Kebutuhan energi semakin meningkat seiring dengan berkembangnya kehidupan manusia. Jumlah sumber daya alam yang semakin menipis seiring dengan bertambah pesatnya teknologi membuat para peneliti berlomba-lomba mencari alternatif lain untuk memenuhi kebutuhan akan energi. Hingga ditemukannya piranti yang dapat mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik yaitu dengan menggunakan piranti sel surya.

Perkembangan piranti sel surya sangat pesat, banyak penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan efisiensi sel surya. Penggunaan beberapa material sebagai bahan semikonduktor sampai teknik pendopingan dilakukan untuk meningkatkan kualitas sel surya yang dihasilkan. Bahan semikonduktor yang paling populer saat ini adalah silikon. Silikon memiliki energi gap 1,1 eV dan sering digunakan sebagai bahan semikonduktor untuk sel surya. Namun harga semikonduktor silikon sangat mahal akibat proses permunian dan pembuatannya hingga dapat digunakan sebagai bahan semikonduktor sangat sulit.

Karbon merupakan salah satu unsur yang jumlahnya sangat melimpah di alam. Dalam peradaban manusia saat ini, karbon bahkan ada dalam setiap aspek kehidupan, contohnya bahan material konstruksi seperti kayu yang tersusun atas selulosa, plastik, karet dan dunia farmasi. Selain ketersediannya yang sangat melimpah, karbon juga memiliki sifat yang sangat menarik yaitu dapat menghasilkan struktur yang bermacam-macam. Mulai dari intan yang merupakan material terkeras dan merupakan bahan isolator sampai grafit yang merupakan bahan konduktor. Selain itu ada beberapa jenis alotrop karbon lainnya yang ditemukan seperti karbon amorf yang merupakan alotrop karbon dengan susunan acak. Kemudian pada tahun 1985 telah ditemukan *buckminster* yang tersusun atas 60 atom karbon membentuk bola. Pada tahun 1991 ditemukan *nanotube* yang merupakan molekul karbon berbentuk silinder dan lembaran grafena ditemukan pada tahun 2004. CNT atau *carbon nanotube* merupakan alotrop karbon yang

sangat konduktif, diprediksi memiliki konduktivitas panas hingga 6000 W/m K (Coleman et al., 2006).

Dari sekian banyak alotrop karbon yang ada di alam, karbon amorf merupakan salah satu jenis alotrop yang banyak diteliti saat ini. Keistimewaan karbon amorf merupakan struktur ikatan penyusunnya yang terdiri dari hibrida sp^2 dan sp^3 . Pada umumnya hibridisasi sp^3 murni dimiliki oleh intan. Hibrida sp^3 mengakibatkan terbentuknya 4 ikatan sigma pada tiap atom karbon yang sifatnya sangat kuat sehingga tidak ada elektron bebas yang mampu bergerak didalamnya. Energi gap intan sangat besar yaitu 5,5 eV maka dari itu intan digunakan sebagai isolator listrik. Sedangkan hibrida sp^2 murni dimiliki oleh grafit. Hibrida sp^2 didalam grafit mengakibatkan terbentuknya 3 ikatan sigma dan 1 ikatan pi pada tiap atom karbon. Ikatan pi yang sifatnya lemah mudah sekali lepas dan menjadi elektron bebas. Grafit tersusun atas banyak atom karbon sehingga jumlah elektron bebas didalamnya juga sangat banyak maka dari itu saat dialiri arus listrik, elektron bebas didalamnya mampu mengalirkan elektron dengan baik menuju anoda atau sering disebut sebagai konduktor yang baik karena tidak memiliki energi gap.

Hibrida sp^2 dan sp^3 didalam karbon amorf sangat mempengaruhi struktur dan sifat yang dihasilkan. Semakin banyak konsentrasi hibrida sp^2 maka sifat karbon amorf akan cenderung seperti grafit yaitu memiliki konduktivitas tinggi dan energi gap kecil sehingga dapat dimanfaatkan sebagai material semikonduktor. Sedangkan semakin banyak konsentrasi hibrida sp^3 maka sifatnya akan cenderung seperti intan yaitu memiliki kekerasan tinggi dan mampu menyerap panas dengan baik sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pelapis peralatan elektronik. Maka dari itu studi mengenai struktur karbon amorf sangat diperlukan untuk mengetahui bagaimana struktur, sifat dan aplikasi yang tepat. Studi mengenai struktur karbon dilakukan menggunakan *Photo Emission Spectroscopy* (PES) dengan metode *X-ray Photoemission Spectroscopy*. Berdasarkan hasil pengujian PES nantinya dapat diketahui struktur kimia didalam karbon amorf sehingga dapat dilakukan analisis mengenai struktur dan pengaruhnya terhadap sifat optik yang dihasilkan.

Dari hasil penelitian sebelumnya telah berhasil disintesis serbuk karbon dari *bio-product* dengan energi gap berkisar antara 0,15 eV -0,4 eV. Energi gap karbon amorf yang dihasilkan masuk ke dalam rentang energi gap material semikonduktor.

Maka dari itu dalam penelitian ini akan dilakukan studi lanjutan untuk mengetahui bagaimana struktur dari karbon amorf dan sifat optiknya sehingga cocok dijadikan sebagai material semikonduktor. Sifat optik merupakan sifat yang sangat penting dalam material semikonduktor. sifat optik yang akan diteliti dalam penelitian kali ini adalah energi gap. Material yang digunakan sebagai penghasil karbon merupakan material alam yang berasal dari pohon kelapa antara lain air nira, legen dan gula kelapa. Pelarut yang digunakan untuk mendeposisi serbuk karbon adalah DMSO dan akuades. Penggunaan pelarut adalah sebagai media agar karbon dapat dilapiskan diatas substrat selain itu kita juga dapat mengetahui bagaimana pengaruh variasi pelarut terhadap lapisan karbon amorf yang digunakan. Variasi temperatur pemanasan juga diberikan untuk mengetahui apakah pemanasan berpengaruh terhadap struktur maupun sifat karbon amorf.

Beberapa penelitian sebelumnya mengenai karbon amorf pernah dilakukan oleh Mansour (2011) yang telah berhasil mensintesis lapisan *Diamond Like Carbon* (DLC) dengan menggunakan teknik deposisi Filtered Cathodic Vacum Arc (FCVA). *DLC* merupakan salah karbon amorf yang memiliki sifat seperti intan dengan kandungan sp^3 yang cukup banyak berkisar antara 20% - 90% (Robertson, 2001). Selain itu, Pratish (2010) juga pernah meneliti tentang lapisan karbon amorf yang dideposisi dengan menggunakan teknik *Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition* (PECVD). Pratish (2010) meneliti tentang pengaruh penggunaan daya dan temperatur substrat terhadap persentase sp^3 didalam lapisan tipis karbon. Dari hasil penelitiannya diketahui bahwa semakin tinggi daya yang digunakan maka persentase sp^3 semakin menurun. Selain itu, semakin tinggi temperatur substrat maka persentase sp^3 juga akan semakin menurun. Penelitian mengenai lapisan karbon amorf juga pernah dilakukan oleh Saleh (2018). Saleh menggunakan teknik RF-PECVD dan data FTIR untuk menghitung persentase sp^2 dan sp^3 dalam lapisan. Dari penelitiannya diketahui bahwa konsentrasi ikatan sp^2 berkisar antara 26% - 30%. Ketiga penelitian sebelumnya dilakukan dengan menggunakan teknik deposisi yang cukup rumit dengan bahan komersial berupa CH_4 . Sedangkan dalam penelitian kali ini digunakan teknik spin coating untuk mendeposisi karbon diatas substrat. Teknik spin coating ini jauh lebih mudah untuk dilakukan dibandingkan dengan FCVA maupun PECVD.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mensintesis karbon amorf dari nira, legen dan gula kelapa.
2. Bagaimana struktur hibrida dari masing-masing sampel.
3. Bagaimana pengaruh energi gap terhadap konduktivitas listrik lapisan tipis karbon amorf.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini antara lain untuk:

1. Mengidentifikasi fasa yang terbentuk dari pemanasan nira, legen dan gula kelapa pada masing-masing temperatur kalsinasi 400°C dan 600°C.
2. Mengetahui struktur hibrida yang terbentuk pada masing-masing sampel.
3. Mengetahui pengaruh energi gap terhadap konduktivitas listrik dalam bentuk lapisan tipis karbon amorf.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini digunakan bahan nira, legen dan gula kelapa dengan temperatur pemanasan 400°C dan 600°C untuk menghasilkan serbuk karbon. Akuades dan DMSO digunakan sebagai media pelarut agar karbon dapat dideposisi diatas substrat kaca.

1.5 Manfaat Penelitian

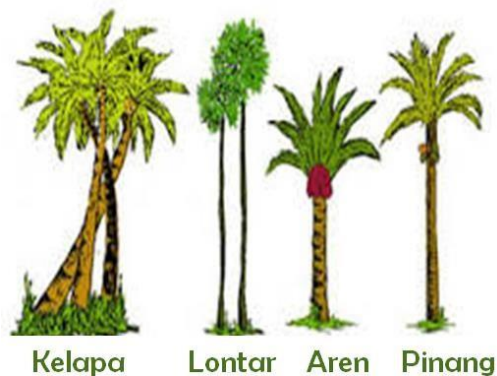
Penelitian ini bermanfaat sebagai acuan untuk mengetahui struktur yang terbentuk dari proses karbonisasi beserta komposisinya dalam lapisan tipis karbon amorf. Selain itu dapat menjadi acuan untuk melakukan rekayasa terhadap struktur dan sifat yang dihasilkan dari lapisan tipis karbon amorf sehingga nantinya dapat dijadikan sebagai salah satu material semikonduktor.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Kelapa

Tanaman kelapa diperkirakan berasal dari Amerika Selatan. Namun menurut catatan lain, tanaman kelapa berasal dari kawasan Asia Selatan atau Malaysia, atau Pasifik Barat yang selanjutnya menyebar dari satu pantai ke pantai lain. Cara membudidayakan kelapa tertua ditemukan di daerah Philipina dan Sri Lanka. Di daerah tersebut kelapa sudah dikenal sejak 3000 tahun yang lalu. Kelapa (*Cocos nucifera* L), di Jawa Timur dan Jawa Tengah dikenal dengan sebutan *kelopo* atau *krambil*. Di Belanda masyarakat mengenalnya sebagai *kokosnot* atau *klapper*, sedangkan bangsa Perancis menyebutnya *cocotier* (Warisno, 1998).



Gambar 2. 1 Jenis-jenis tanaman palmae

Kurang lebih ada 100 varietas kelapa saat ini. Tanaman ini mulai berbuah pada umur 5 tahun dan produksi oenuh dicapai pada umur 10 – 50 tahun. Pohon kelapa dikatakan tua pada umur 80 tahun, dan biasanya akan mati pada umur 100 tahun (Dep. Perindustrian, 1984). Tanaman berkeping satu ini memiliki banyak sekali manfaat. Hampir semua bagian tanamannya dapat diolah maka dari itu tanaman kelapa dijuluki sebagai “Tree of Life”. Hampir semua bagiannya dapat dimanfaatkan dan banyak Negara berkembang yang menggantungkan kehidupannya pada tanaman kelapa antara lain sebagai sumber makanan, minuman, bahan bangunan, obat, kerajinan tangan serta untuk bahan baku industri (Tenda and Kaumanuang 2007).

Produk dari tanaman kelapa yang paling sering digunakan adalah buah kelapa dan gula kelapa. Namun ada produk dari tanaman kelapa yang banyak orang belum mengetahui yaitu nira kelapa. Nira kelapa adalah cairan bening yang keluar dari bunga kelapa yang pucuknya belum membuka yang disadap, cairan ini merupakan bahan baku untuk pembuatan gula. Selain pohon kelapa, nira juga bisa dihasilkan dari pohon lain seperti aren, siwalan, dan lontar. Nira sering juga dibuat “legen“ kata ini sebenarnya istilah bahasa jawa berasal dari kata legi artinya manis. Dalam keadaan segar nira mempunyai rasa manis berbau harum dan tidak berwarna. Selain bahan baku pembuatan gula nira dapat pula digunakan sebagai bahan makanan lain yaitu minuman keras (tuak), asam cuka dan minuman segar, serta pada akhirnya ini muncul produk baru dari nira aren yaitu gula merah serbuk (Tien. R. Muchtadi dan Sugiyono, 1992).

2.2 Nira

Nira adalah cairan manis yang diperoleh dari air batang atau getah tandan bunga tanaman seperti tebu, bit, sorgum, maple, siwalan, bunga dahlia dan tanaman dari keluarga palma seperti aren, kelapa, nipah, sagu, kurma dan sebagainya. Nira diperoleh melalui penyadapan tandan bunga dan disimpan dalam sebuah wadah. Kemudian saat wadah tersebut terisi penuh baru diambil dan bisa langsung disajikan sebagai minuman segar atau disimpan untuk dijadikan tuak seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Air nira kelapa

Nira kelapa merupakan salah satu bagian dari tanaman kelapa yang banyak dikembangkan sebagai gula kelapa. Salah satu kendala yang dihadapi dalam pengolahan nira kelapa adalah mudahnya terjadi kontaminasi oleh ragi liar.

Kontaminasi nira kelapa oleh ragi liar yang menghasilkan enzim sukrase atau invertase akan menyebabkan sukrosa terpecah menjadi glukosa dan fruktosa. Nira yang telah rusak tersebut jika dimasak, maka warnanya akan berubah menjadi keruh kekuning-kuningan dan gula yang dihasilkan tidak dapat mengkristal serta mudah menyerap air (Samarajeewa, 1985).

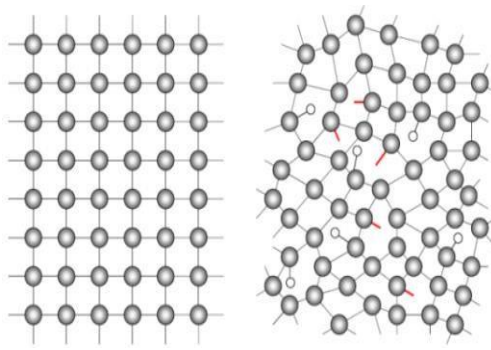
Gula utama penyusun nira adalah sukrosa, yaitu sekitar 13–17%. Nira juga mengandung glukosa dan fruktosa, tetapi dalam jumlah yang sangat kecil (Tarwiyah, 2001). Rasa manis pada nira disebabkan karena adanya sukrosa, glukosa, fruktosa serta sakarida lainnya. Karena kandungan sukrosa yang tinggi tersebut sangat memungkinkan dan cocok untuk pertumbuhan mikroba. Kerusakan nira ditandai oleh penurunan pH disebabkan adanya perombakan gula menjadi asam organik oleh mikroba seperti khamir (*Saccharomyces* sp) serta bakteri (*Acetobacter* sp). Selain mengandung gula, nira kelapa juga mengandung bahan-bahan lain seperti protein, lemak, dan mineral seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Kandungan nira kelapa (Rumokoi, 1990)

Komponen	Kandungan (%)
Karbohidrat	11,18
Glukosa	3,61
Fruktosa	7,48
Protein	0,28
Lemak kasar	0,01
Abu	0,35
Kalsium	0,06
Fosfor	0,07
Vitamin C	0,01
Air	89,23

2.3 Karbon Amorf

Karbon amorf tersusun dari dua kata yaitu karbon dan amorf. Amorf berarti ketidakteraturan atau acak sehingga karbon amorf dapat diartikan sebagai karbon yang susunannya tidak teratur.



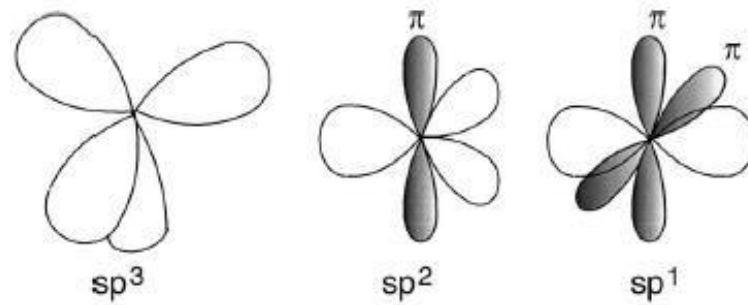
Gambar 2. 3 Struktur kristalin dan amorf

(Takahashi and Konagai 1986)

Gambar 2.3 menunjukkan struktur karbon amorf yang acak. Karbon amorf merupakan salah satu material karbon yang menarik karena memiliki aplikasi yang sangat luas baik dalam bidang mekanik, listrik dan optik bergantung pada struktur kimianya. karbon amorf memiliki struktur yang kompleks yaitu memiliki hibridisasi sp^3 seperti intan, hibridisasi sp^2 dan hidrogen. Karbon amorf juga bisa saja mengandung hibridisasi sp^1 namun tidak terlalu berpengaruh dalam sifat yang dihasilkan. Pada 1971 Aisenberg dan Chabot memperkenalkan material *diamond like carbon* (DLC) sebagai lapisan tipis karbon amorf yang paling penting dalam studi ilmiah. Selain itu Robertson mempelajari tentang sifat listrik dari lapisan tipis karbon amorf dan kemudian memperkenalkan model struktur dua fasa. Menurut Robertson struktur karbon amorf terdiri atas sp^2 yang tertanam dalam matriks sp^3 dan telah diakui oleh banyak peneliti (Zhou et al., 2017).

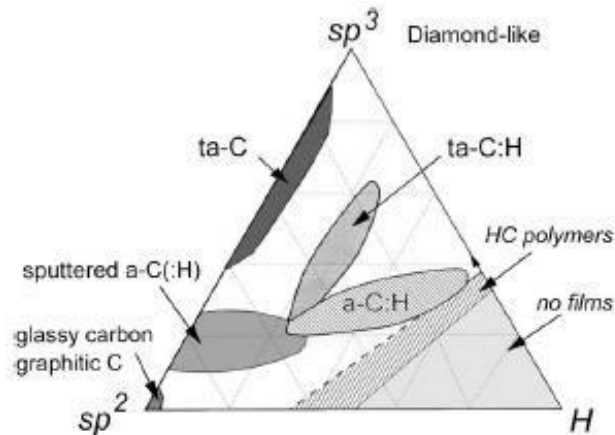
Karbon dapat membentuk berbagai struktur (alotrop) karena kemampuannya yang dapat membentuk tiga jenis hibridisasi yaitu sp^1 , sp^2 dan sp^3 . Alotrop merupakan terjadinya suatu unsur dalam dua atau lebih struktur yang berbeda karbon memiliki beberapa jenis alotrop antara lain *diamond* (intan), grafit, *lonsdaleite*, C_{60} , C_{540} , C_{70} , *amorphous carbon*, *single-walled carbon nanotube* (CNT)(Pamungkas, 2017). Konfigurasi sp^3 murni dimiliki oleh alotrop karbon yang disebut intan, konfigurasi sp^2 murni dimiliki oleh grafit sedangkan karbon amorf memiliki kedua konfigurasi tersebut. Pada konfigurasi sp^3 , empat elektron valensi atom karbon membentuk tetrahedral yang membuat ikatan kuat σ dengan atom yang berdekatan. Konfigurasi sp^2 terdiri atas ikatan σ dan ikatan π . Tiga dari empat elektron valensi atom karbon membentuk sp^2 dengan ikatan σ dan satu elektron

lainnya membentuk orbital $p\pi$ yang tegak lurus terhadap ikatan σ . Ikatan π membentuk ikatan lemah bila dibandingkan dengan ikatan σ . Sedangkan konfigurasi sp^1 dengan dua elektron valensi membentuk ikatan σ dan dua elektron lainnya membentuk ikatan π seperti ditampilkan pada Gambar 2.4 (Robertson, 2002).



Gambar 2. 4 Ikatan hibridisasi sp^1 , sp^2 , sp^3

Konfigurasi sp^2 , sp^3 dan hidrogen juga menentukan struktur dan sifat yang dihasilkan dari material DLC. DLC memiliki beberapa sifat yang hampir sama seperti intan antara lain kekerasan dan modulus elastisitas. Namun biaya yang dibutuhkan untuk memproduksinya lebih murah dibandingkan untuk memproduksi intan dan material ini memiliki banyak keunggulan untuk berbagai macam aplikasi. Maka dari itu banyak penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan rasio sp^3 didalam karbon amorf atau untuk menghasilkan DLC. Material DLC bukan hanya mengandung karbon amorf tetapi hidrogen juga. Komposisi dari hibridisasi sp^2 , sp^3 dan hidrogen dalam karbon amorf ditampilkan dalam diagram ternary seperti Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Diagram fasa terner ikatan karbon amorf-hidrogen

Dari Gambar 2.5 dapat dilihat bahwa konsentrasi sp^2 , sp^3 dan hidrogen yang berbeda akan menghasilkan struktur karbon amorf yang berbeda pula. Banyak penelitian yang dilakukan dengan teknik deposisi yang berbeda untuk menghasilkan karbon amorf dengan konsentrasi sp^3 lebih tinggi. Teknik deposisi *sputter* telah dilakukan Mc Kenzie untuk meningkatkan konsentrasi sp^3 . Dengan menggunakan teknik ini, struktur karbon amorf berubah menjadi karbon amorf tetrahedral. Teknik PECVD juga dilakukan untuk menghasilkan a-C:H namun konsentrasi sp^3 pada struktur ini sangat sedikit maka dari itu digunakan teknik deposisi yang lebih baik untuk menghasilkan konsentrasi sp^3 yang lebih banyak. Teknik PECVD *high plasma density* digunakan oleh Wayler dalam karakterisasi karbon amorf dan dihasilkan ta-C:H. Berikut karakteristik beberapa karbon amorf berdasarkan konsentrasi sp^3 , hidrogen dan energi gap ditampilkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Karakteristik beberapa kelompok karbon amorf (Robertson, 2002)

	sp^3 (%)	H(%)	Density (g cm ⁻³)	Gap (eV)	Hardness (GPa)
Diamond	100	0	3,515	55	100
Grafit	0	0	2,267	0	
C ₆₀	0	0		1,6	
Glassy C	0	0	1,3 – 1,5	0,01	3
Evaporated C	1	0	1,9	0,4 – 0,7	3
Sputtered C	5	0	2,2	0,5	
ta-C	80-88	0	3,1	2,5	80
a-C:H hard	40	30-40	1,6 – 2,2	1,1 – 1,7	10 – 30
a-C:H soft	60	40-50	1,2 – 1,6	1,7 – 4	< 10
ta-C:H	70	30	2,4	2 – 2,5	50
Polyetilene	100	67	0,92	6	0,01

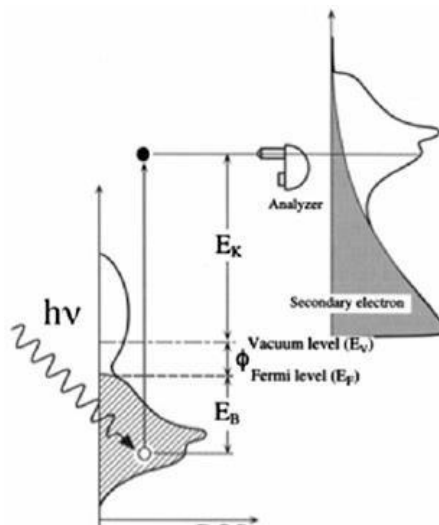
Karbon amorf merupakan salah satu alotrop karbon yang memiliki dua jenis hibrida yaitu sp^2 dan sp^3 . Ikatan sp^2 murni dimiliki oleh grafit sedangkan ikatan sp^3 murni dimiliki oleh intan. Sifat keduanya sangat berbeda, grafit memiliki sifat listrik yang bagus yaitu berupa tidak adanya *band gap* diantara pita valensi dan pita konduksi sehingga sangat cocok untuk dijadikan sebagai konduktor sedangkan grafit memiliki ikatan sp^3 yang sangat kuat sehingga *band gap* diantara pita valensi dan pita konduksi sangat besar yaitu mencapai 6 eV sehingga cocok dijadikan sebagai isolator.

Karbon amorf memiliki keunggulan yaitu memiliki kedua jenis hibrida yaitu sp^2 dan sp^3 sehingga sifatnya juga merupakan kombinasi diantara kedua jenis hibrida tersebut. Karbon amorf dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan konsentrasi sp^2 dan sp^3 seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.1. perbedaan tingkat konsentrasi sp^2 dan sp^3 sangat menentukan sifat yang dihasilkan oleh material. Semakin tinggi konsentrasi sp^2 dalam material karbon maka sifat yang dihasilkan akan seperti grafit sedangkan apabila konsentrasi sp^3 semakin tinggi maka sifat yang dihasilkan akan seperti intan.

Aplikasi dari lapisan tipis karbon amorf sangat banyak, biasanya digunakan sebagai lapisan pelindung dari korosi ataupun keausan, pelapis antirefleksif bahkan saat ini lapisan a-C digunakan sebagai dioda dan perangkat electroluminescence (Y.S et al., 2007). Banyak teknik yang dapat dilakukan untuk mendeposisi lapisan a-C contohnya *sputtering*, *pulsed laser deposition*, *plasma-enhanced chemical vapor deposition* (PECVD), *filtered vacuum arc* dan *ion beam deposition* (IBD)(Mohagheghpour et al., 2016).

2.4 Photo Emission Spectroscopy

Photo Emission Spectroscopy (PES) merupakan metode yang digunakan untuk mengukur struktur elektronik padatan melalui efek fotolistrik. Ada dua jenis energi foton yang digunakan dalam pengujian PES yaitu sinar-x (XPS) dan ultraviolet (UPS). Prinsip dari pengujian ini adalah dengan menembakkan foton pada sampel kemudian mengukur energi kinetik yang dihasilkan oleh elektron yang terlepas dari sampel tersebut seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Mekanisme fotolistrik dalam pengujian PES (Takayama, 2015)

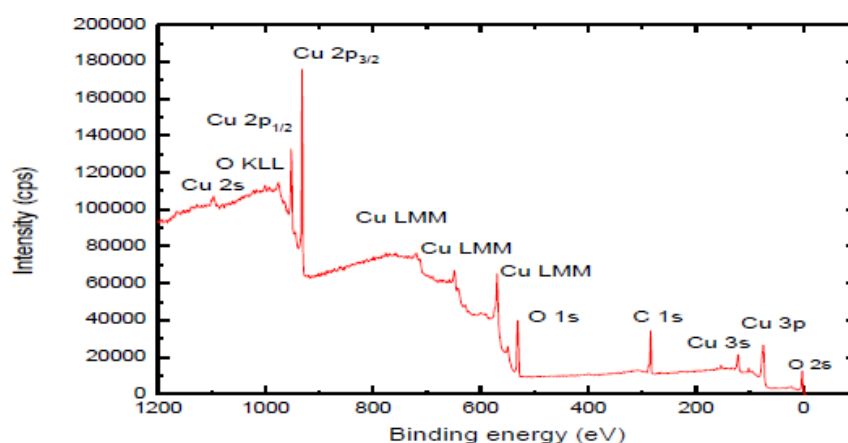
Gambar 2.6 menunjukkan peristiwa fotolistrik didalam sampel. Saat sampel dikenai foton maka energi yang diserap oleh elektron akan digunakan untuk tiga hal antara lain untuk memutuskan ikatan antara elektron dan atom, sebagai energi kinetik elektron untuk melepaskan diri dari permukaan sampel dan apabila ada kelebihan energi maka akan digunakan sebagai energi kinetik untuk beregerak dalam ruang hampa.

$$E_k = h\nu - \phi - E_B \quad (2.1)$$

dengan E_k adalah energi ikat, $h\nu$ adalah energi foton, ϕ adalah energi kinetik elektron diruang hampa dan ϕ merupakan fungsi kerja. Fungsi kerja merupakan energi minimal yang harus dimiliki oleh elektron agar dapat terlepas dari permukaan sampel. Dari pengujian ini kita mendapatkan energi ikat yang merupakan sidik jari suatu material. Suatu material yang tidak diketahui dapat diidentifikasi dengan mengetahui energi ikatnya. Dalam pengujian kali ini karbon memiliki energi ikat pada kulit 1s berkisar antara 283-290 eV yang dapat didekomposisi menjadi beberapa komponen berdasarkan struktur yang ada didalam material karbon seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.3

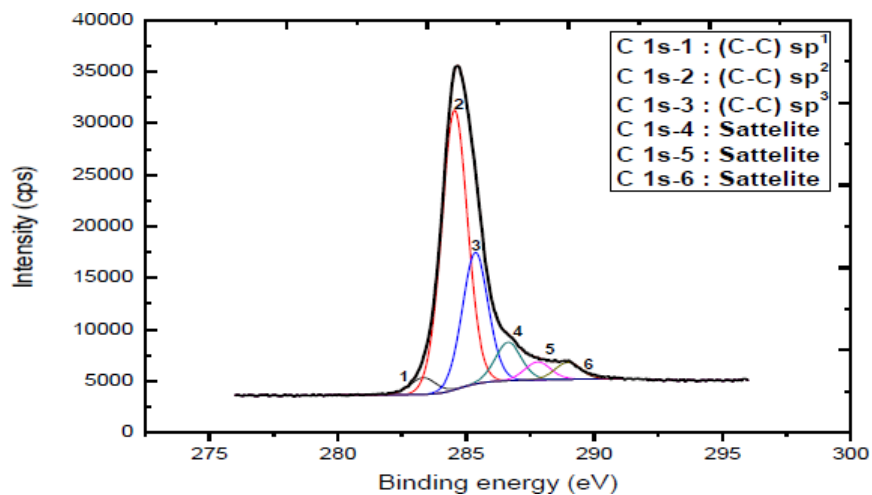
Tabel 2. 3 Energi ikat pada kurva C1s	
Jenis ikatan	Energi ikat (eV)
C-C sp ¹	283
C-C sp ²	284,25±0,30
C-C sp ³	285,33±0,38
C-O	286,5
C=O	287,7
O=C-O	290

Hasil dari pengujian PES berupa kurva yang menunjukkan hubungan antara energi ikat dengan intensitas. Dari kurva tersebut kita dapat mengetahui ikatan apa saja yang ada beserta konsentrasinya didalam suatu sampel. Biasanya pengujian ini dilakukan untuk mengetahui rasio sp² dan sp³ didalam material karbon. Kurva hasil pengujian PES ditampilkan seperti Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Kurva hasil pengujian PES(Mansour, 2011)

Gambar 2.7 menunjukkan hasil penelitian Mansour (2011) yang melakukan penelitian dengan mendeposisi lapisan DLC diatas substrat SiO₂ dengan temperatur 500 C. Setelah dilakukan pemilihan didapat grafik C1s seperti Gambar 2.8.

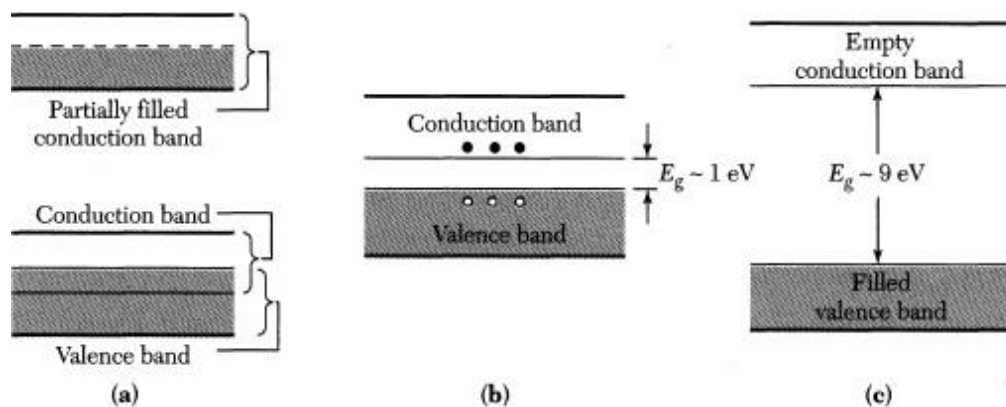


Gambar 2. 8 Grafik C1s pada lapisan DLC

Gambar 2.8 menunjukkan grafik C1s setelah dilakukan dekonvolusi, didalam grafik C1s terdapat beberapa grafik penyusun antara lain ikatan C-C dengan konigurasi sp^1 , sp^2 dan sp^3 . Selain itu juga terdapat ikatan C-O, C=O dan O=C-O. Berdasarkan hasil pengujian didapat bahwa persentase tiap ikatan sebesar 3,3 ; 55,8 ; 26,3 ; 7,7 ; 3,6 ; 3,4. Mansour (2011) meneliti tentang pengaruh sudut deposisi terhadap konsentrasi sp^2 dan sp^3 . Berdasarkan hasil penelitiannya didapat bahwa konsentrasi sp^3/sp^2 meningkat dengan meningkatnya sudut deposisi. Kenaikan konsentrasi sp^3/sp^2 tertinggi sebesar 0.99 dimiliki pada lapisan dengan sudut deposisi 5° ke 6°.

2.5 Konsep Pita Energi

Secara umum zat padat dikelompokkan menjadi tiga yaitu konduktor, isolator dan semikonduktor. Bahan konduktor merupakan bahan yang mudah menghantarkan listrik, isolator adalah bahan yang sukar menghantarkan listrik sedangkan semikonduktor berada diantara keduanya. Pengelompokan bahan biasanya dilakukan berdasarkan nilai konduktivitasnya. Untuk menjelaskan konduktivitas sering kali digunakan konsep pita energi. Ada dua jenis pita energi yaitu pita valensi dan pita konduksi. Pita valensi merupakan pita energi teratas yang terisi penuh oleh elektron sedangkan pita konduksi adalah pita energi diatas pita valensi yang terisi sebagian atau tidak terisi oleh elektron. Diantara pita valensi dan pita konduksi terdapat celah yang disebut celah energi. Besar kecilnya celah energi menentukan sifat yang dihasilkan oleh material.



Gambar 2. 9 Pita energi zat padat (a) konduktor, (b) semikonduktor, (c) isolator

Gambar 2.9 menunjukkan struktur pita energi didalam zat padat. Struktur pita bahan konduktor, semikonduktor dan isolator dibedakan berdasarkan lebar celah pita energi. Gambar 2.9 (a) menunjukkan pita energi bahan konduktor, pita konduksi dan pita valensi saling tumpang tindih sehingga tidak ada celah antar pita energi. Bahan konduktor memiliki dua skema pita energi dimana semua hole yang ada di pita valensi berpindah ke pita konduksi sehingga pita konduksi terisi oleh banyak elektron bebas. Kedua pita valensi terisi penuh oleh hole dan pita konduksi terisi sebagian oleh elektron bebas. Gambar 2.9 (b) menunjukkan pita energi bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor memiliki energi gap yang kecil yaitu 1 eV. Pada $T = 0\text{ K}$, semua elektron berada di pita valensi dan tidak ada elektron yang ada di pita konduksi. Semikonduktor adalah konduktor lemah pada temperatur rendah. Namun saat temperatur ruang maka energi panas kT pada temperatur ruang dapat menyebabkan elektron di pita valensi berpindah ke pita konduksi. Gambar 2.9 (c) menunjukkan pita energi bahan isolator. Bahan isolator memiliki energi gap yang sangat besar. Pita valensi dipenuhi oleh elektron namun elektron tidak mampu berpindah ke pita konduksi akibat besarnya energi gap (Sze, 2001).

Material semikonduktor saat ini banyak dikembangkan sebagai piranti sel surya. Sifatnya yang dapat diubah-ubah berdasarkan lebar celah energi menjadikan bahan semikonduktor banyak diaplikasikan dalam bidang elektronik. Konduktivitas listrik bahan semikonduktor dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain suhu, penyinaran, medan magnet dan jumlah atom impuritas (Frank and Kurtz, 2007).

2.6 Analisis Karbon Amorf menggunakan Spektroskopi Inframerah

Spektroskopi inframerah merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis gugus fungsional yang terkandung dalam suatu sampel. Selain itu FTIR juga dapat digunakan untuk mengetahui struktur kimia berupa konformasi dan ikatan hidrogen. Pengujian dengan menggunakan spektroskopi inframerah dilakukan dengan mengukur absorpsi radiasi, refleksi atau emisi di daerah inframerah. Daerah inframerah pada spektrum gelombang elektromagnetik mencakup bilangan gelombang mulai 10 cm^{-1} hingga 14.000 cm^{-1} . Daerah inframerah dibagi menjadi tiga, antara lain daerah inframerah dekat, sedang dan jauh.

Daerah inframerah dekat ($12.500\text{--}4.000\text{ cm}^{-1}$) merupakan daerah yang berkaitan dengan vibrasi *overtone*. Pada daerah ini biasanya terdapat regangan C-H, N-H atau O-H. Daerah inframerah sedang ($4.000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$) berkaitan dengan transisi energi vibrasi molekul yang memberikan informasi mengenai gugus-gugus fungsi dalam molekul tersebut. Daerah inframerah jauh ($400\text{--}10\text{ cm}^{-1}$) digunakan untuk menganalisis molekul yang mengandung atom-atom berat seperti senyawa organik, namun membutuhkan teknik khusus yang lebih baik (Schechter, 1997).

Melalui data spektroskopi inframerah, kita dapat menentukan ikatan gugus fungsi didalam sampel dengan mencocokkan bilangan gelombang yang ada pada spektra IR dengan referensi. Referensi bilangan gelombang dengan ikatan karbon yang terbentuk ditampilkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Referensi bilangan gelombang pada tiap jenis mode vibrasi (Skoog et al., 1988)

Ikatan	Tipe Senyawa	Frekuensi (cm^{-1})	Intensitas
C-H	Alkana	2850-2970	Kuat
		1340-1470	Kuat
C-H	Alkena C=C	3010-3095	Sedang
		675-995	Kuat
C-H	Alkuna -C≡C-	3300	Kuat
C-H	Cincin Aromatik	3010-3100	Sedang
		650-1000	Kuat
	Fenol, monomer alkohol		
	Alkohol ikatan hidrogen, fenol	3590-3650	Berubah-ubah
		3200-3600	Berubah-ubah
O-H	Monomer asam karboksilat, ikatan hidrogen asam hidroksilat		
		3500-3650	Sedang
		2500-2700	Melebar

N-H	Amina, Amida	3300-3500	Sedang
C=C	Alkena	1610-1680	Berubah-ubah
C=C sp ²	Cincin Aromatik	1500-1600	Berubah-ubah
C≡C sp	Alkuna	2100-2260	Berubah-ubah
C-N	Amina, Amida	1180-1360	Kuat
C≡N	Nitril	2210-2280	Kuat
C-O	Alkohol, Eter, Asam Karboksilat, Ester	1050-1300	Kuat
C-O	Aldehid, Keton, Asam Karboksilat, Ester	1690-1760	Kuat
NO ₂	Senyawa Nitro	1500-1570 1300-1370	Kuat
S-O	Sulfoksida	1290-1390	Kuat
SO ₂	Sulfur dioksida	1350-1450	Kuat

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan bahan

3.1.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian yaitu neraca O'haus digital, spatula, gelas beker, kertas saring, *magnetic stirrer*, mortar, tabung reaksi, *plastic wrap*, kursibel 50 ml, kaca ITO, furnace *Carbolite 1400*, Difraktometer Sinar X Philips, seperangkat alat *spin coating*, seperangkat alat *four-point probe*, *Fourier Transform Infrared*, spektroskopi UV-VIS, *Particle Size Analyzer*, *Scanning Electron Microscopy* dan *Photo Emission Spectroscopy*.

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu nira kelapa, legen kelapa, gula kelapa, larutan dimetil sulfoksida (DMSO) dan akuades.

3.2 Metodologi Penelitian

3.2.1 Sintesis Serbuk Karbon

Sintesis serbuk karbon dilakukan dengan cara semua bahan (nira kelapa, legen kelapa dan gula merah) dipanaskan dengan menggunakan *magnetic stirrer* pada temperatur suhu 100°C sampai strukturnya seperti gula merah cair kemudian dimasukkan kedalam *furnace* dengan suhu 250°C selama 2 jam untuk mendapatkan struktur serbuk setelah. Langkah selanjutnya yaitu dilakukan pemanasan dengan variasi temperatur 400°C dan 600°C.

3.2.2 Sintesis Lapisan Tipis Karbon

Sintesis lapisan tipis karbon dilakukan dengan mencuci serbuk karbon dengan menggunakan akuades. Setelah itu masing-masing serbuk karbon yang telah dipanaskan pada temperatur 400°C dan 600°C ditimbang sebanyak 1 gram. Masing-masing serbuk karbon dilarutkan kedalam 10 ml akuades dan larutan DMSO kemudian digunakan *ultrasonic cleaner* selama 2 jam agar serbuk karbon terdispersi dalam larutan. Sentrifugasi dilakukan selama 30 menit dengan kecepatan 4.000 rpm dan dihasilkan larutan karbon. Larutan tersebut kemudian digunakan

untuk uji gugus fungsi dengan menggunakan spektroskopi FTIR, UV-VIS dan PSA, sebagian lagi digunakan untuk dideposisi diatas substrat kaca ITO dengan menggunakan teknik *spin coating*. Kemudian lapisan tipis karbon amorf dikarakterisasi dengan menggunakan metode *four-point probe*, SEM dan PES.

3.2.3 Identifikasi Fasa

Pengujian dengan menggunakan *X Ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengetahui fasa yang terdapat pada material. Pengujian ini dilakukan dalam bentuk sampel serbuk pada material karbon setelah dilakukan pemanasan pada temperatur 400°C dan 600°C. Pengujian difraksi sinar-X dilakukan di Laboratorium Teknik Material ITS dengan menggunakan difraktometer tipe *Philips X'Pert MPD (Multi Purpose Diffractometer)* dengan radiasi Cu-K α , tegangan 40 kV dan arus 30 mA dengan target logam Cu ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$).

3.2.4 Pengukuran Konduktivitas (*Four Point Probe*)

Metode *four point probe* merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui nilai konduktivitas suatu bahan. Faktor geometris merupakan faktor yang perlu diperhatikan dalam pengukuran konduktivitas listrik menggunakan metode empat titik. Pada pengukuran ini luasan pengukuran dibuat persegi dengan ukuran 1x1 cm² sehingga jarak antar *probe* sebesar 0,25 cm.

3.2.5 Identifikasi Ikatan Gugus Fungsi (FTIR)

Karakterisasi untuk mengetahui ikatan gugus fungsi dilakukan menggunakan menggunakan spektroskopi FTIR tipe 8400S SHIMADZU. Karakterisasi inframerah dilakukan di laboratorium Jurusan Kimia ITS dengan rentang bilangan gelombang 400 cm⁻¹ – 4000 cm⁻¹. Karakterisasi ini diperlukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi apa saja yang terdapat didalam bahan.

3.2.6 Pengukuran Energi Gap (UV-VIS)

Karakterisasi struktur lapisan karbon juga dilakukan dengan menggunakan spektroskopi UV-VIS. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui energi gap serta sifat optik yang dihasilkan lapisan tipis karbon. Pengujian dilakukan di Laboratorium Energi ITS.

3.2.7 Pengukuran Konsentrasi Hibrida (PES)

Karakterisasi dengan menggunakan *Photo Emission Spectroscopy* (PES) dilakukan untuk mengetahui struktur lapisan tipis karbon tepatnya untuk mengetahui persentase sp^2 dan sp^3 yang ada didalamnya. Pengujian dilakukan di Laboratorium SLRI Thailand *beamline* 3.2.

3.2.8 Pengukuran Ukuran Partikel (PSA)

Karakterisasi dengan menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) dilakukan untuk mengetahui ukuran partikel. Dari pengujian dengan menggunakan PSA dapat diketahui distribusi ukuran partikel karbon. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Jurusan Fisika ITS.

3.2.9 Identifikasi Struktur Morfologi (SEM)

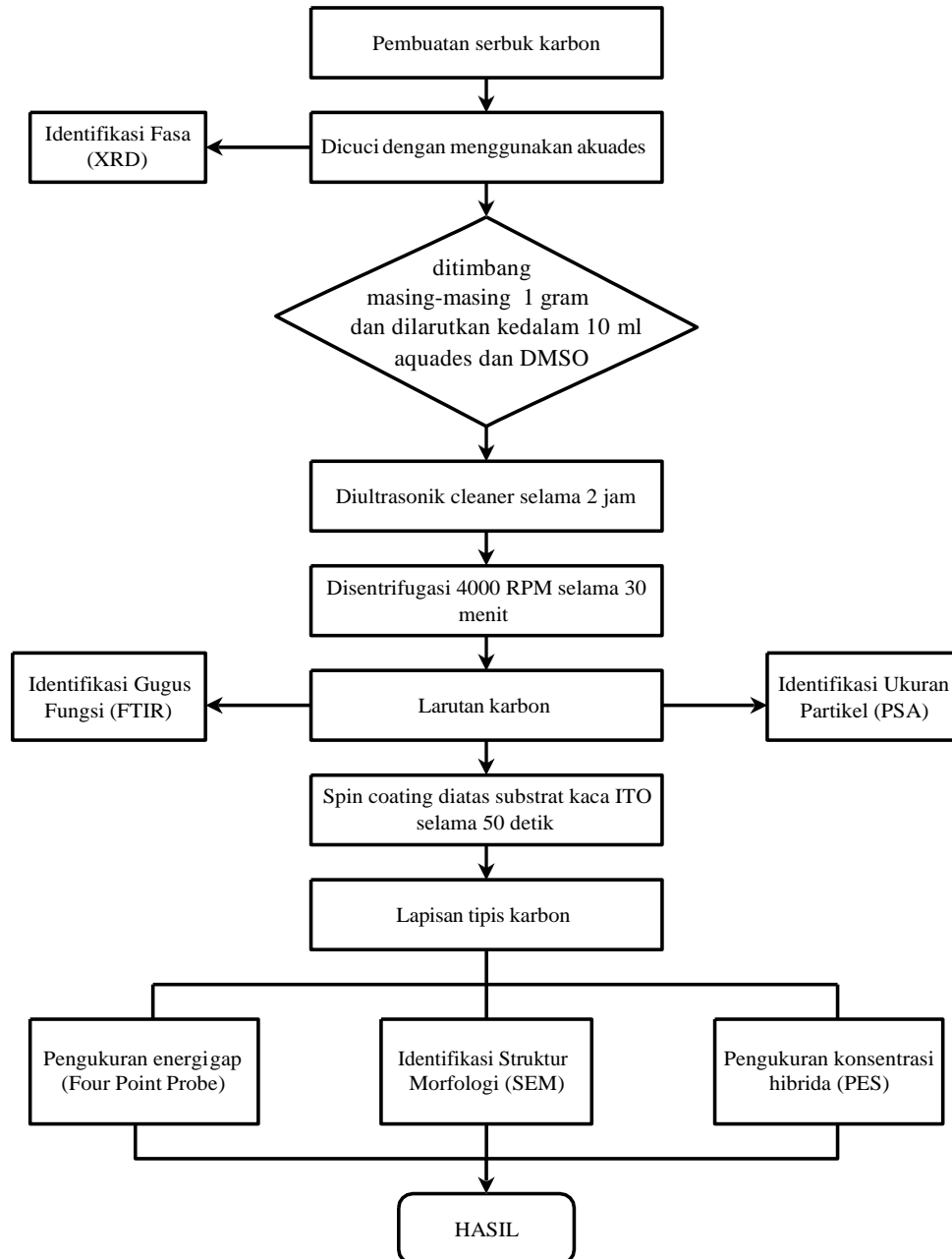
Karakterisasi struktur lapisan tipis karbon amorf dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui struktur morfologi serta ketebalan lapisan tipis. Pengujian dilakukan di Jurusan Teknik Mesin ITS.

Daftar kode sampel:

Kode Sampel	Keterangan
NK400	Nira kelapa dengan pelarut akuades temperatur pemanasan 400°C
LK400	Legen kelapa dengan pelarut akuades temperatur pemanasan 400°C
GK400	Gula kelapa dengan pelarut akuades temperatur pemanasan 400°C
NKD400	Nira kelapa dengan pelarut DMSO temperatur pemanasan 400°C
LKD400	Legen kelapa dengan pelarut DMSO temperatur pemanasan 400°C
GKD400	Gula kelapa dengan pelarut DMSO temperatur pemanasan 400°C
NK600	Nira kelapa dengan pelarut akuades temperatur pemanasan 600°C
LK600	Legen kelapa dengan pelarut akuades temperatur pemanasan 600°C
GK600	Gula kelapa dengan pelarut akuades temperatur pemanasan 600°C
NKD600	Nira kelapa dengan pelarut DMSO temperatur pemanasan 600°C
LKD600	Legen kelapa dengan pelarut DMSO temperatur pemanasan 600°C
GKD600	Gula kelapa dengan pelarut DMSO temperatur pemanasan 600°C

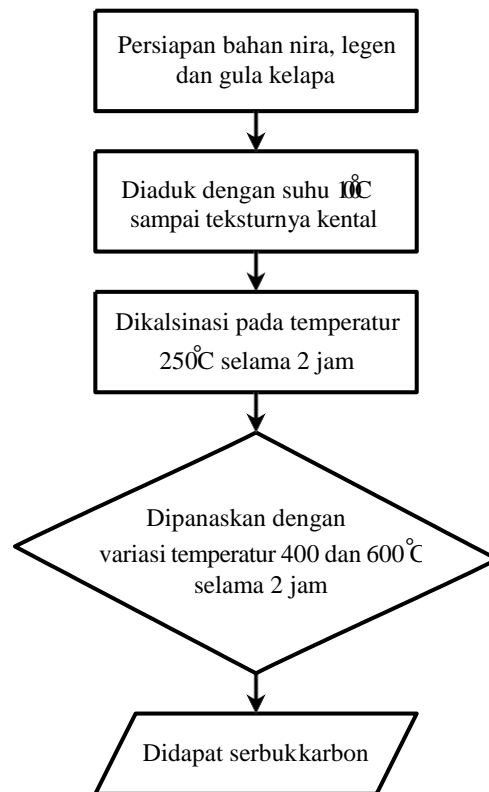
3.3 Diagram alir penelitian

a. Skema pelaksanaan penelitian secara umum ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 1 Skema Pelaksanaan penelitian secara umum

- b. Skema pelaksanaan pembuatan serbuk karbon secara khusus ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3. 2 Skema pembuatan serbuk karbon

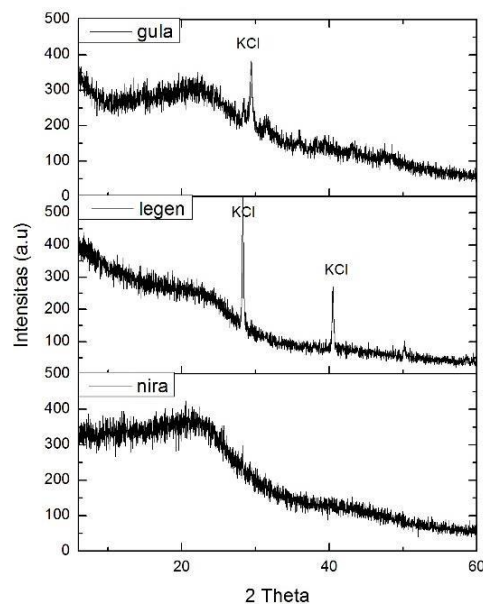
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data Difraksi

Identifikasi fasa dilakukan dengan menggunakan pengujian difraksi sinar-x. Pengujian difraksi sinar-x sampel dilakukan pada rentang sudut 0° - 60° . Dari hasil pengujian difraksi sinar-x didapat pola difraksi sampel dengan temperatur pemanasan 400°C seperti Gambar 2.1

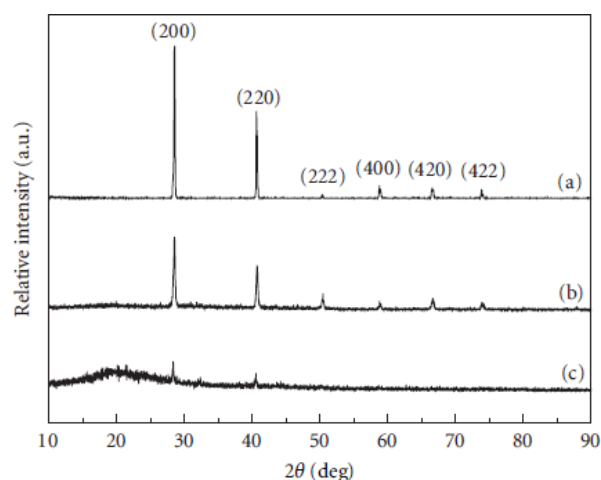


Gambar 4. 1 Pola Difraksi sampel dengan temperatur pemanasan 400°C

Pola difraksi menunjukkan adanya puncak lebar pada posisi $22,9^{\circ}$ dan beberapa puncak kecil yang tajam. Adanya puncak lebar pada posisi $22,9^{\circ}$ menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk dari hasil pemanasan sampel adalah fasa karbon amorf. Terbentuknya fasa karbon amorf juga dapat dilihat melalui spektrum yang dihasilkan tampak tidak teratur dan bentuk puncak yang lebar. Spektrum difraksi dari ketiga sampel pada Gambar 2.1 tampak hampir sama, yaitu memiliki satu puncak lebar pada posisi $22,9^{\circ}$. Namun pada pola difraksi sampel legen dan gula terdapat puncak kecil yang tajam di beberapa sudut.

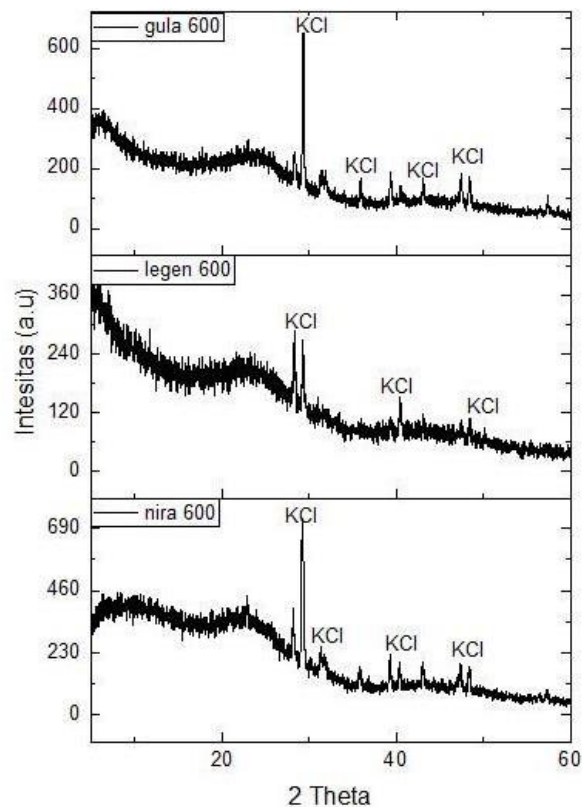
Pada pola difraksi sampel legen terdapat puncak kecil pada posisi 28° dan 40° sedangkan pada sampel gula terdapat puncak kecil pada posisi 28° . Setelah

dilakukan pencocokan dengan *database* diketahui bahwa fasa yang terbentuk didalam karbon adalah KCl. Pola difraksi KCl menunjukkan adanya enam puncak kecil dan tajam yang terbentuk di posisi tertentu dan dapat dilihat pada Gambar 4.2. Puncak-puncak KCl berada apada bidang (200), (220), (222), (400), (420) dan (422). Setelah dilakukan pencocokan, puncak KCl yang ada pada pola difraksi sampel legen dengan temperatur pemanasan 400°C berada pada bidang (200) sedangkan puncak KCl pada sampel gula berada pada bidang (200) dan (220).



Gambar 4. 2 Pola Difraksi a) KCl, b) Modified Multiwalled Carbon Nanotubes (MWCNTs) dengan KCl, c) MWCNTs dan KCl yang disintesis dengan menggunakan katalis Co/Ni (Song Lin et al., 2012)

Berdasarkan hasil pencocokan posisi puncak diketahui bahwa puncak kecil didalam pola difraksi karbon merupakan puncak KCl. Adanya unsur logam seperti K dan Cl dalam nira, legen dan gula kelapa dapat dikarenakan faktor jenis tanah pada saat penanaman pohon kelapa. Dalam pertumbuhannya pohon membutuhkan unsur hara yang terdapat dalam tanah. Unsur hara tersebut terdiri dari dua jenis, yaitu unsur hara makro dan mikro. Unsur hara makro terdiri dari C, H, O, N, P, K, Ca, Mg dan S sedangkan unsur hara mikro terdiri dari Fe, Mn, B, Cu, Zn, Cl dan Mo. Unsur-unsur tersebut ada yang berasal dari udara dan ada yang berasal dari tanah (Efendi, 2006). Unsur-unsur yang terkandung di dalam tanah dapat terserap oleh pohon kelapa melalui akar pohon yang dapat didistribusikan selama pertumbuhan ke seluruh bagian pohon kelapa termasuk buah kelapa. Kandungan KCl tersebut dapat dihilangkan dengan melakukan pencucian dengan menggunakan air.



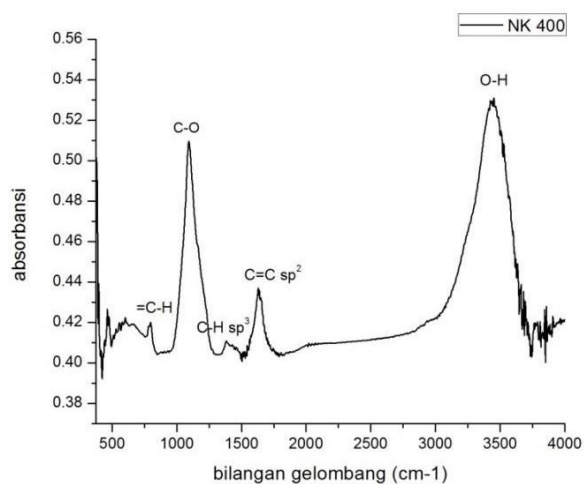
Gambar 4. 3 Pola Difraksi sampel dengan temperatur pemanasan 600°C

Gambar 4.3 menunjukkan spektrum difraksi sampel dengan temperatur pemanasan 600°C. Spektrum difraksi pada Gambar 4.3 menunjukkan adanya puncak lebar pada posisi 22,9° sama, seperti pola difraksi pada Gambar 4.1. Adanya puncak lebar pada posisi 22,9° mengidentifikasi terbentuknya fasa karbon amorf didalam sampel. Puncak-puncak kecil dan tajam didalam spektrum merupakan puncak KCl. Namun puncak kecil dan tajam pada pola difraksi sampel dengan temperatur pemanasan 600°C lebih banyak dibanding pada sampel dengan temperatur pemanasan 400°C. Abu yang terbentuk dari hasil pemanasan merupakan garam KCl berdasarkan hasil pencocokan posisi puncak pola difraksi. Posisi puncak KCl pada ketiga sampel terletak pada posisi yang hampir sama yaitu pada bidang (200), (220), (222) dan (422).

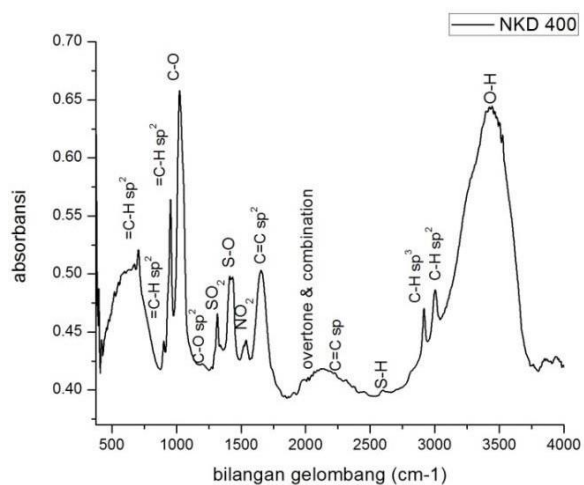
4.2 Analisis Ikatan Gugus Fungsi

Analisis ikatan gugus fungsi dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang ada didalam suatu bahan. Pengujian yang digunakan untuk mengetahui gugus fungsi dalam suatu bahan adalah spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Pengujian FTIR dilakukan dengan cara menembakkan sinar pada sampel kemudian mengukur sinar yang diteruskan oleh sampel (transmitansi).

Ikatan gugus fungsi yang ada didalam sampel dapat diketahui melalui spektra inframerah dengan melakukan pencocokkan posisi puncak yang muncul pada spektra inframerah dengan *database* pada Tabel 2..



Gambar 4. 4 Spektra inframerah NK400

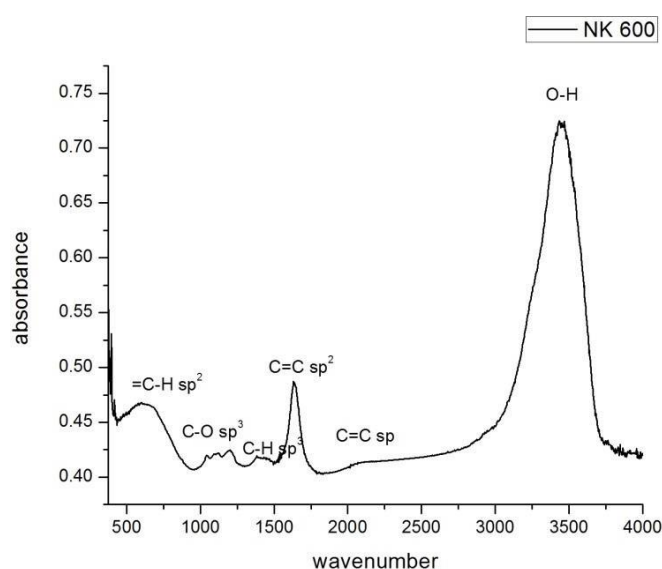


Gambar 4. 5 Spektra inframerah NKD 400

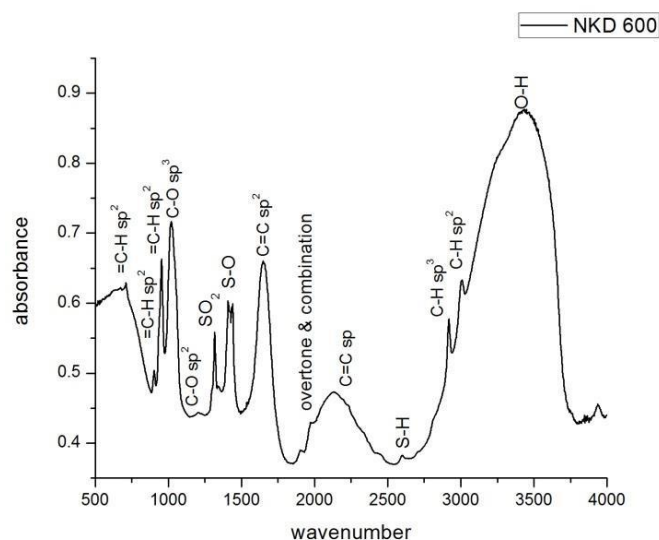
Gambar 4.4 menunjukkan spektra inframerah nira dengan temperatur pemanasan 400°C dan pelarut akuades sedangkan Gambar 4.5 merupakan spectra inframerah nira dengan temperatur pemanasan 400°C dan pelarut dimetil sulfoksida (DMSO). Pada spektra inframerah NK400 terdapat beberapa gugus fungsi antara lain =C-H, C-O, C-H, N-O, C=C dan O-H sedangkan spektra inframerah nira DMSO 400 menunjukkan terbentuknya gugus fungsi =C-H, C-O, SO₂, S-O, C=C, S-H, C-H dan O-H. Gugus fungsi yang terbentuk dalam sampel dengan pelarut DMSO lebih banyak karena adanya ikatan dalam pelarut itu sendiri. Jenis ikatan gugus fungsi didalam sampel ditampilkan pada Tabel 4.1 dan 4.2.

Tabel 4. 1 Ikatan gugus fungsi sampel dengan temperatur pemanasan 400°C pelarut akuades (Skoog et al., 1988)

Referensi	Pengamatan			Ikatan
	~700-1000	~1000-1300	~1300-1600	
650-1000	798.56	-	950.94	C-H out of plane bending sp ²
1000-1260	1091.75	1097.53	1018.45	C-O
1100-1300	1383.01	-	1103.32	C-H sp ³
1530-1560	-	1535.39	1535.46	NO ₂ asimetri
1600-1680	1627.97	1641.48	1631.83	C=C sp ²
3200-3600	3453.34	3462.34	3446.91	O-H



Gambar 4. 6 Spektra inframerah NK600



Gambar 4. 7 Spektra inframerah sampel NKD600

Tabel 4. 2 Ikatan gugus fungsi sampel dengan temperatur pemanasan 400°C pelarut DMSO

Referensi	Pengamatan			Ikatan
	NK400	LK400	GK400	
650-1000	705.97	705.97	673.18	C-H out of plane bending sp ²
	900.79	900.79	707.9	
	952.87	952.87	900.79	
			952.87	
1000-1260	1022.31	1022.31	1022.31	C-O
	1199.76 1315.50;	1199.76	1211.34	
1290-1390	1336.64	1315.5	1317.43	SO ₂ asimetri
	1411.94	1410.01	1408.08	
1350-1450		1437.02	1438.94	S-O sulfat
1530-1560	1539.25	1539.25	1529.6	NO ₂ asimetri
1600-1660	1654.98	1653.05	1649.19	C=C sp ²
	1909.59	1905.73	1899.95	
1700-2000	1992.53	1977.1	1977.1	overtone and combination
2100-2250	2117.91	2137.2	2137.2	C=C sp
2550-2600	2598.2	2598.2	2598.2	S-H
2850-3000	2916.47	2916.47	2918.4	C-H stretch sp ³
3000-3100	3001.34	3003.27	3005.2	C-H bend sp ²
3200-3600	3443.05	3421.83	3412.19	O-H

Tabel 4. 3 Ikatan gugus fungsi sampel dengan temperatur pemanasan 600°C pelarut akuades

Referensi	Pengamatan			Ikatan
	NK600	LK600	GK600	
650-1000	-	-	952,87	C-H out of plane bending sp ²
	1043,52	1014,59	1016,52	
1000-1260	1112,96	-	-	C-O
	1197,82	-	-	
1100-1300	-	1109,11	-	C-H sp ³
1365-1385	1388,72	-	-	C-H ₃ sp ³
1530-1560	-	-	1543,10	NO ₂ asimetri
1600-1680	1637,62	1635,69	1631,83	C=C sp ²
2100-2250	2104,41	2067,76	2096,69	C=C sp
	-	-	2872,10	
2850-3000	-	-	2829,97	C-H stretch sp ³
3200-3600	3466,2	3448,84	3466,2	O-H

Tabel 4. 4 Ikatan gugus fungsi sampel dengan temperatur pemanasan 600°C pelarut DMSO

Referensi	Pengamatan			Ikatan
	NK600	LK600	GK600	
650-1000	698,25	709,83	709,83	C-H out of plane bending sp ²
	902,72	902,87	902,72	
	952,87	952,87	952,87	
1000-1260	1020,38	1020,38	1020,38	C-O
	-	1203,62	-	
1290-1390	1317,43	1315,50	1317,43	SO ₂ asimetri
	-	1346,36	-	
1350-1450	1408,08	1408,08	1408,08	S-O sulfat
	1438,94	1433,18	1438,94	
1530-1560	-	1535,39	1535,39	NO ₂ asimetri
1600-1660	1647,26	1651,12	1641,48	C=C sp ²
	1907,66	1907,66	1911,52	
1700-2000	1973,24	1973,24	1975,17	overtone and combination
2100-2250	2137,20	2127,55	2127,55	C=C sp
	-	2224,00	-	
2550-2600	2600,13	2600,13	-	S-H
2918,40	2918,40	2918,4	2918,4	C-H stretch sp ³
3000-3100	3007,12	3005,20	3010,98	C-H bend sp ²
3200-3600	3379,89	3454,62	3446,91	O-H

Spektrum inframerah nira dengan temperatur pemanasan 600°C ditampilkan pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7. Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 menunjukkan data ikatan molekular larutan karbon amorf dengan pelarut akuades dan DMSO. Pada sampel dengan pelarut akuades penggunaan temperatur pemanasan yang berbeda mempengaruhi jenis ikatan molekular. Pada NK600 ikatan C-H sp^2 dan C-H sp^3 terputus, LK600 dan GK600 ikatan C-H sp^3 terputus. Penggunaan temperatur pemanasan yang semakin tinggi mengakibatkan terputusnya beberapa ikatan molekular.

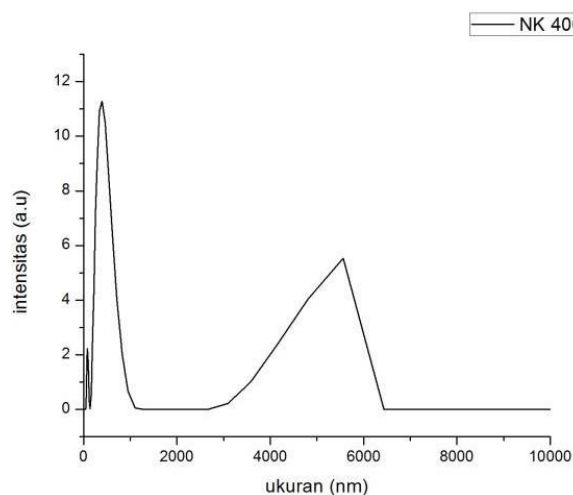
4.3 Analisis Ukuran Partikel

Pengujian ukuran partikel karbon dalam penelitian ini dilakukan menggunakan alat *Particle Size Analyzer* (PSA). Metode yang digunakan merupakan *Dinamic Light Scattering* (DLS). Metode DLS merupakan pengukuran ukuran partikel yang dilakukan dengan cara menembakkan cahaya ke sampel, kemudian ketika cahaya menabrak suatu materi maka medan listrik dari cahaya menginduksi polarisasi osilasi elektron dalam molekul. Oleh karena itu, molekul menghasilkan sumber cahaya sekunder dan kemudian menghamburkan cahaya. Pergeseran frekuensi, sudut distribusi, polarisasi dan intensitas cahaya yang tersebar ditentukan oleh ukuran, bentuk dan interaksi molekul dalam materi hamburan. Dalam penelitian ini media pendispersi yang digunakan adalah akuades dan DMSO.

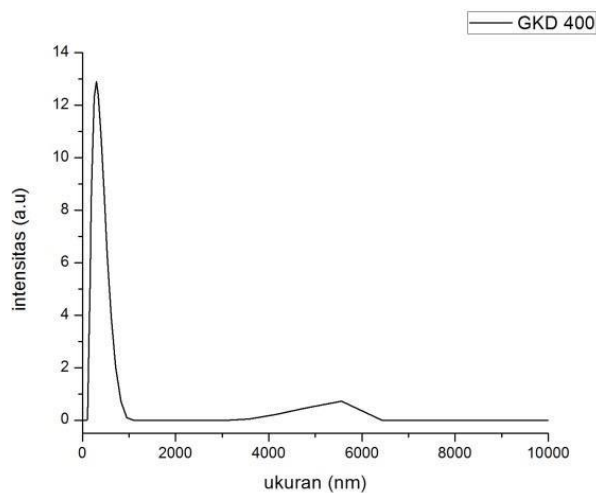
Tabel 4.5 menunjukkan data hasil pengukuran ukuran partikel menggunakan PSA. Berdasarkan Tabel 4.5 diketahui bahwa ukuran partikel semakin meningkat dengan meningkatnya temperatur pemanasan. Dapat dilihat dari ukuran partikel rata-rata NK400 dan NK600 yang meningkat dari 0,39 μm menjadi 1,42 μm . Hal ini dapat terjadi karena pada saat proses pemanasan terjadi penggabungan antar butir. Penelitian mengenai pengaruh temperatur terhadap ukuran partikel pernah dilakukan oleh Rosanti (2015). Dalam penelitiannya digunakan tiga variasi suhu yaitu 500°C, 600°C dan 700°C dan menghasilkan masing-masing ukuran partikel 46,60 nm, 54,39 nm, dan 65,25 nm. Sehingga didapat bahwa penggunaan temperatur pemanasan yang lebih tinggi dapat meningkatkan ukuran partikel.

Penggunaan pelarut yang berbeda tidak terlalu mempengaruhi ukuran partikel. Berdasarkan hasil pengujian PSA didapat, ukuran partikel karbon hampir sama saat menggunakan pelarut akuades maupun DMSO. Ukuran partikel merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi sifat yang dihasilkan dari suatu material. Banyak penelitian yang dilakukan untuk menghasilkan material dengan ukuran kecil. Hal ini dikarenakan semakin kecil ukuran partikel maka luas permukaannya semakin besar. Apabila luas permukaan besar maka laju reaksi semakin cepat. Kemampuan partikel dalam menghantarkan panas maupun listrik juga semakin baik.

Distribusi ukuran juga dapat diketahui melalui uji PSA. Distribusi ukuran akan menunjukkan ukuran partikel yang dihasilkan seragam atau tidak. Gambar 4.8 menunjukkan distribusi ukuran partikel NK400 dan Gambar 4.9 menunjukkan distribusi ukuran partikel GKD400. Berdasarkan Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 diketahui bahwa ukuran partikel tidak seragam dimana terdapat dua puncak lebar. Ketidak seragaman ukuran partikel dapat disebabkan ukuran partikel yang berbeda atau struktur partikel yang berbentuk panjang sehingga terdapat sisi yang berukuran kecil dan sisi yang lainnya berukuran lebar. Penyebab ketidak seragaman ukuran ini dapat dilihat melalui pengujian SEM sehingga dapat diketahui bagaimana struktur morfologi sampel.



Gambar 4. 8 Distribusi ukuran partikel NK400



Gambar 4. 9 Distribusi ukuran partikel GKD400

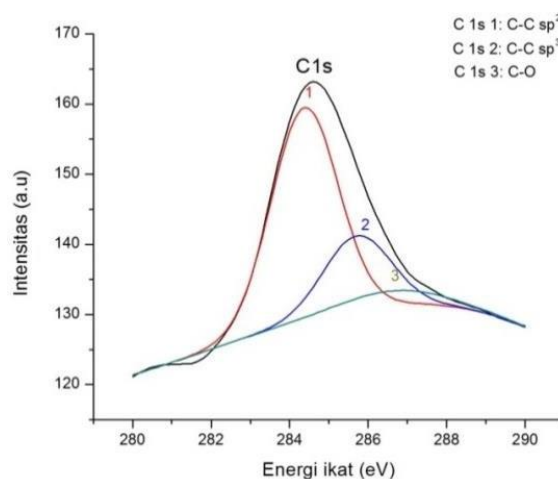
Tabel 4. 5 Data ukuran partikel hasil pengujian PSA

Nama Sampel	Ukuran Partikel (μm)	Nama Sampel	Ukuran Partikel (μm)
NK400	0,39	LK600	0,78
NKD400	0,26	LKD600	0,44
NK600	1,42	GK400	0,51
NKD600	1,55	GKD400	0,3
LK400	0,51	GK600	0,85
LKD400	0,41	GKD600	0,6

4.4 Analisis Konsentrasi Hibrida

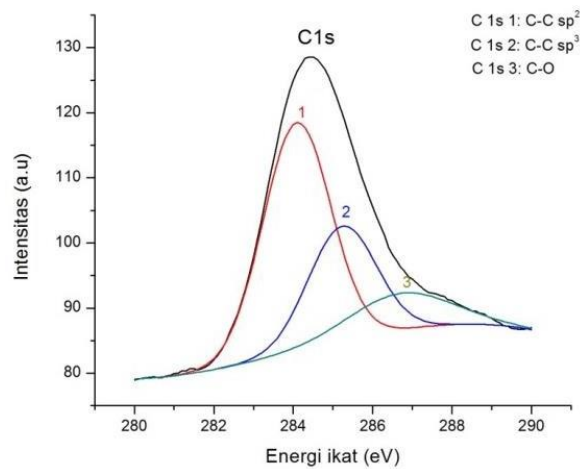
Karbon amorf merupakan salah satu alotrop karbon amorf yang memiliki dua jenis hibrida yaitu sp^2 dan sp^3 . Besarnya konsentrasi hibrida mempengaruhi sifat yang dihasilkan maka dari itu dilakukan pengukuran menggunakan alat PES dengan menggunakan metode XPS. XPS merupakan teknik spektroskopi yang sangat sensitive terhadap permukaan yang dapat digunakan untuk mengetahui ikatan kimia maupun keadaan elektronik. Dalam penelitian kali ini XPS digunakan untuk mengetahui ikatan kimia yang ada didalam lapisan karbon amorf sehingga nantinya dapat diketahui persentase hibrida didalam lapisan. XPS merupakan metode yang dilakukan dengan menembakkan sinar pada permukaan sampel. Apabila energi foton lebih besar daripada energi ikat elektron maka elektron tersebut akan terlepas dan ditangkap oleh detektor. Elektron yang terlepas merupakan elektron yang ada di kulit 1s yang nantinya dapat memberikan informasi

mengenai ikatan apa saja yang ada didalamnya. Jenis-jenis ikatan didalam lapisan dibedakan berdasarkan energi ikatnya. Data hasil pengujian XPS berupa grafik hubungan antara energi ikat dengan intensitas seperti ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Hasil fitting puncak C1s NK400

Gambar 4.10 merupakan grafik hasil fitting puncak C1s pada sampel NK400. Kurva berwarna hitam merupakan spektrum hasil pengujian XPS yang kemudian diolah dengan menggunakan *Microsoft Office Excel* yang telah dilengkapi dengan *software Macros*. Kurva tersebut nantinya menghasilkan tiga puncak kecil yang berada pada posisi 284,37 eV, 285,72 eV dan 286,7 eV. Kemudian dilakukan pencocokan dengan *database* pada Tabel 2.3 untuk mengetahui jenis ikatan apa yang ada didalam kurva C1s. Dari hasil pencocokan diketahui bahwa ikatan yang ada didalam lapisan karbon pada puncak C1s berturut-turut adalah ikatan C=C sp^2 , C-C sp^3 dan C-O. Hasil fitting puncak C1s sampel NKD400 ditunjukkan pada Gambar 4.9. Berdasarkan hasil dekonvolusi puncak C1s, terbentuk tiga puncak masing-masing merupakan ikatan C=C sp^2 pada 284,08 eV, ikatan C-C sp^3 pada 285,23 eV dan ikatan C-O pada 286,67 eV. Hasil fitting puncak C1s lapisan tipis karbon amorf ditunjukkan pada Tabel 4.6.



Gambar 4. 11 Hasil fitting puncak C1s NKD400

Tabel 4. 6 Parameter fitting puncak C1s

Nama Sampel	Energi Ikat (eV)		
	C=C sp^2	C-C sp^3	C-O
NK400	284,37	285,7	286,5
NKD400	284,1	285,3	286,55
NK600	284,25	285,2	286,57
NKD600	284,46	285,7	286,5
LK400	284,5	285,5	286,5
LKD400	284,5	285,5	286,5
LK600	284,23	285,5	286,6
LKD600	284,5	285,6	286,6
GK400	283,95	284,95	286,5
GKD400	283,98	284,96	286,5
GKD600	284,3	285,2	286,5

Posisi puncak dari hasil fitting menunjukkan jenis ikatan yang terbentuk didalam lapisan. Sedangkan persentase ikatan sp^2 didapat dengan menghitung rasio luas area puncak sp^2 terhadap jumlah luas area puncak sp^2 dan sp^3 (Mansour, 2011). Hasil perhitungan persentase ikatan sp^2 pada lapisan tipis karbon amorf ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Data hasil perhitungan konsentrasi sp^2 pada puncak C1s

Nama Sampel	Konsentrasi sp^2 (%)	Nama Sampel	Konsentrasi sp^2 (%)
NK400	74	LK600	75,3
NKD400	67	LKD600	6
NK600	80	GK400	70
NKD600	75	GKD400	61
LK400	56	GKD600	68
LKD400	52		

Berdasarkan hasil perhitungan persentase ikatan sp^2 pada Tabel 4.7 diketahui bahwa persentase ikatan sp^2 lebih besar daripada ikatan sp^3 . Konsentrasi ikatan sp^2 terbesar dimiliki oleh lapisan tipis karbon amorf dari LK400. Pengaruh perbedaan pelarut juga tampak pada persentase ikatan sp^2 didalam lapisan a-C. Lapisan karbon dengan pelarut akuades mengandung ikatan sp^2 yang lebih banyak dibanding lapisan karbon dengan pelarut DMSO. Hal ini bisa terjadi karena larutan DMSO (Dimetil sulfoksida) mengandung ikatan C-H. Ikatan yang ada di dalam akuades hanya ikatan antara H dengan O sehingga tidak mempengaruhi persentase ikatan karbon yang dihasilkan sedangkan DMSO mengandung ikatan C-H sehingga dimungkinkan terjadi interaksi antara ikatan dalam serbuk karbon dengan ikatan didalam pelarut DMSO sehingga mempengaruhi persentase ikatan sp^2 pada lapisan karbon. Namun perbedaan persentase yang ada didalam karbon dengan pelarut akuades dengan DMSO tidak terlalu besar.

Penggunaan variasi temperatur juga mempengaruhi persentase ikatan karbon didalam lapisan karbon. Persentase ikatan sp^2 didalam lapisan semakin meningkat dengan bertambahnya temperatur pemanasan. Hal ini terjadi karena dengan bertambahnya temperatur pemanasan maka terdapat tambahan energi termal sehingga ikatan metastabil sp^3 berubah menjadi ikatan sp^2 yang lebih stabil. Penelitian mengenai hal serupa juga pernah dilakukan oleh Mangolini et al(2013) yang meneliti tentang pengaruh perlakuan panas terhadap struktur dan fraksi ikatan karbon amorf dengan doping silicon (a-C:Si). Dari penelitiannya didapat bahwa semakin tinggi temperatur anil maka persentase ikatan sp^2 semakin meningkat. Temperatur substrat pada saat deposisi juga dapat meningkatkan persentase sp^2 , (Ong et al., 2007) pernah meneliti mengenai efek temperatur deposisi terhadap

struktur lapisan a-C dan didapat bahwa semakin tinggi temperatur substrat pada saat deposisi maka persentase konfigurasi sp^2 yang dihasilkan semakin besar.

Konsentrasi sp^2 dan sp^3 sangat mempengaruhi sifat yang dihasilkan. Semakin tinggi konsentrasi sp^2 maka sifat yang dihasilkan akan seperti grafit yang memiliki sifat optik sangat baik sehingga sangat cocok dijadikan sebagai bahan konduktor. Sedangkan apabila konsentrasi sp^3 semakin tinggi maka sifat karbon amorf cenderung seperti intan yang memiliki kekerasan yang sangat tinggi dan energi gap yang sangat besar sehingga cocok dijadikan sebagai isolator. Besarnya konsentrasi sp^2 dan sp^3 berpengaruh pada nilai konduktivitas dan energi gap material. Semakin banyak ikatan sp^2 maka nilai konduktivitasnya akan semakin tinggi dan energi gapnya akan semakin kecil, begitu sebaliknya.

4.5 Analisis Konduktivitas Listrik dan Energi Gap

Konduktivitas listrik dan energi gap merupakan sifat penting dari bahan semikonduktor. Baik tidaknya kinerja semikonduktor ditentukan dari nilai konduktivitas dan energi gapnya. Dalam penelitian ini pengukuran konduktivitas dilakukan dengan menggunakan metode *four-point probe*. Larutan karbon dideposisi diatas substrat kaca kemudian diuji dengan menggunakan empat *probe*. Sedangkan pengukuran energi gap dilakukan dengan menggunakan spektroskopi UV-VIS.

Nilai konduktivitas material merupakan parameter yang biasanya digunakan dalam menentukan jenis material tersebut termasuk material konduktor, semikonduktor ataupun isolator. Material konduktor mampu menghantarkan arus listrik, material isolator tidak dapat menghantarkan arus listrik sedangkan material semikonduktor berada diantara keduanya. Tabel 4.8 menunjukkan klasifikasi bahan berdasarkan nilai konduktivitas listriknya.

Tabel 4. 8 Klasifikasi material berdasarkan nilai konduktivitas listrik

Bahan	Konduktivitas (S/m)
Konduktor	$>10^3$
Semikonduktor	$10^{-8} - 10^3$
Isolator	$<10^{-8}$

Tabel 4. 9 Data konduktivitas listrik hasil pengukuran menggunakan metode *four-point probe*

Nama Sampel	Konduktivitas (S/m)	Nama Sampel	Konduktivitas (S/m)
NK400	3,7	LK600	4,52
NKD400	3,33	LKD600	4,22
NK600	4,31	GK400	5,98
NKD600	4,22	GKD400	4,2
LK400	4,09	GK600	6,39
LKD400	4,06	GKD600	4,44

Tabel 4.9 menunjukkan data konduktivitas listrik hasil pengukuran menggunakan metode *four-point probe*. Metode *four-point probe* dilakukan dengan mengukur arus dan tegangan lapisan tipis karbon kemudian dilakukan perhitungan konduktivitas listrik. Berdasarkan data pada Tabel 4.9, nilai konduktivitas listrik sampel meningkat dengan meningkatnya temperatur pemanasan. Konduktivitas listrik merupakan ukuran kemampuan material dalam menghantarkan arus listrik. Konsentrasi ikatan sp^2 dan sp^3 juga mempengaruhi konduktivitas listrik material. Semakin banyak konsentrasi ikatan sp^2 maka konduktivitas listrik material semakin besar karena ikatan sp^2 lebih mudah menghantarkan listrik daripada ikatan sp^3 . Ikatan sp^2 berperan dalam sifat listrik material sedangkan ikatan sp^3 berperan dalam hal mekanik atau kekerasan material. Penggunaan jenis pelarut yang berbeda juga menghasilkan konduktivitas listrik yang berbeda. Penggunaan pelarut akuades menghasilkan konduktivitas listrik yang lebih tinggi daripada DMSO, hal ini juga berkaitan dengan konsentrasi ikatan sp^2 yang ditunjukkan pada Tabel 4.7 dimana konsentrasi ikatan sp^2 dengan pelarut akuades lebih banyak daripada DMSO. Namun perbedaan konduktivitasnya tidak terlalu besar.

Material semikonduktor memiliki konduktivitas dengan rentang 10^{-8} S/m sampai 10^3 S/m sehingga semua sampel yang telah diuji termasuk material semikonduktor. Material semikonduktor merupakan material yang konduktivitasnya berada diantara material konduktor dan isolator. Biasanya diaplikasikan untuk pembuatan dioda, transistor maupun sel surya. Semakin besar nilai konduktivitas listrik maka kemampuan suatu bahan dalam menghantarkan arus juga semakin besar. Dari keempat sampel yang telah diuji, nilai konduktivitas yang

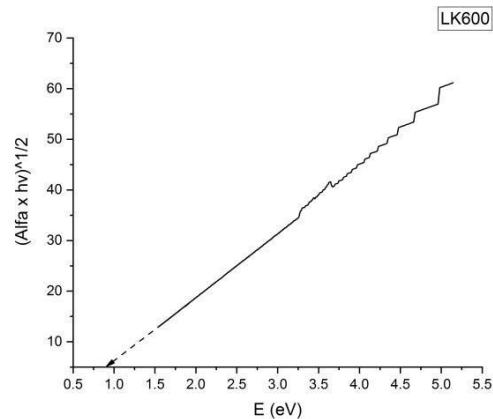
didapat relatif rendah. Hal ini juga merupakan karakteristik dari material semikonduktor yang memiliki kemampuan rendah dalam menghantarkan arus. Konduktivitas dipengaruhi oleh jumlah elektron bebas yang berada pada pita konduksi. Semakin banyak jumlah elektron bebas pada pita konduksi maka bahan akan bersifat semakin konduktif.

Energi gap merupakan celah yang harus dilewati oleh elektron untuk berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Energi gap juga menjadi parameter untuk menentukan jenis material. Material konduktor tidak memiliki energi gap karena terjadi overlapping antara pita valensi dan pita konduksi sehingga elektron dengan mudah bisa berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Semakin mudah elektron berpindah dari pita valensi ke pita konduksi maka material tersebut akan semakin mudah menghantarkan arus listrik. Sedangkan pada material isolator, jarak celah antara pita valensi dan pita konduksi sangat besar sehingga elektron dari pita valensi tidak mampu berpindah ke pita konduksi.

Tabel 4.10 menunjukkan besar energi gap beberapa material semikonduktor. Energi gap merupakan parameter yang penting dalam material semikonduktor karena sifat yang dihasilkan dan pemanfaatan semikonduktor bergantung dari nilai energi gap. Dari energi gap dapat ditentukan kapan waktu pemakaian semikonduktor yang tepat karena berhubungan dengan panjang gelombang cahaya yang diserap. Silikon merupakan salah satu material semikonduktor yang paling sering digunakan. Silikon memiliki energi gap sebesar 1,1 eV sehingga silikon mampu menyerap sinar UV pada siang hari yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik.

Tabel 4. 10 Nilai energi gap beberapa material semikonduktor(Mikrajuddin and Khairurijal, 2010)

Bahan	Energi Gap (eV)	Bahan	Energi Gap (eV)
Si	1,11	GaP	2,24
Ge	0,67	GaAs	1,40
Sn	0,08	InAs	0,36
CdS	2,4	InP	1,29
ZnTe	2,26	InSb	1,16
GaSb	0,77	PbS	0,4



Gambar 4. 12 Spektrum UV-VIS LK600

Gambar 4.12 menunjukkan spektrum uv-vis sampel LK600. Berdasarkan spektrum uv-vis dapat ditentukan besar energi gap material dengan menggunakan metode Tauc's plot. Data nilai energi gap sampel ditampilkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Data energi gap hasil pengukuran menggunakan spektroskopi UV-VIS

Nama Sampel	Energi Gap (eV)
NK400	1,1
NKD600	1,1
LK400	1,36
LKD400	1,4
LK600	0,8
GK600	0,6

Berdasarkan nilai energi gap pada Tabel 4.11, nilai energi gap NK400 dan NK600 sama dengan nilai energi gap silikon yaitu 1,1 eV. Nilai energi gap dipengaruhi oleh ikatan yang ada didalam karbon. Semakin besar konsentrasi ikatan sp^2 maka sifat yang dihasilkan akan mendekati sifat grafit. Energi gap yang dihasilkan akan semakin kecil. Sedangkan semakin kecil konsetrasi sp^2 maka sifat yang dihasilkan akan akan mendekati intan yang memiliki energi gap sangat besar.

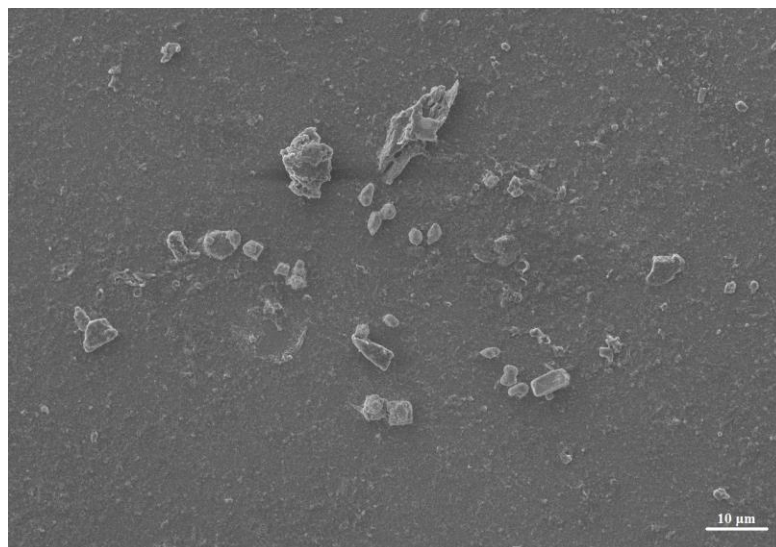
Energi gap juga berhubungan dengan konduktivitas listrik material. Semakin besar energi gap maka kemampuan material untuk menghantarkan arus semakin sulit sehingga konduktivitasnya rendah. Nilai energi gap LK400 lebih besar daripada LK600. Hal ini sesuai dengan data XPS dimana konsentrasi ikatan

sp^2 LK600 lebih besar dibanding LK400. Nilai energi gap yang dihasilkan berkisar antara 0,6 eV – 1,4 eV.

Penggunaan pelarut yang berbeda tidak terlalu mempengaruhi nilai energi gap material. Dapat dilihat pada LK400 dan LKD400 yang memiliki energi gap masing-masing 1,36 eV dan 1,4 eV. Lapisan tipis karbon amorf yang dihasilkan tergolong bahan semikonduktor karena rentang energi gapnya masih berada didalam daerah semikonduktor yaitu antara $0 < E_g < 3$ eV. Berdasarkan nilai energi gapnya, lapisan tipis karbon amorf dapat menyerap gelombang cahaya sinar UV dengan panjang gelombangnya berkisar antara 300 nm – 3000 nm. Dengan daerah penyerapan panjang gelombang yang sama dengan semikonduktor silikon maka penggunaan lapisan tipis karbon sebagai material semikonduktor dinilai lebih efisien karena proses pembuatannya yang cukup mudah yaitu dengan memanfaatkan bahan alam yang mudah dijumpai dan teknik deposisi yang lebih praktis. Selain itu energi gap yang dihasilkan bervariasi bergantung dari struktur hibrida penyusun karbon amorf.

4.6 Analisis Struktur Morfologi dan Kandungan Unsur

Struktur morfologi merupakan struktur yang tampak dari luar. Struktur morfologi material dapat dilihat menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Dalam penelitian ini dilakukan identifikasi struktur morfologi pada sampel NK400 dan GKD400.

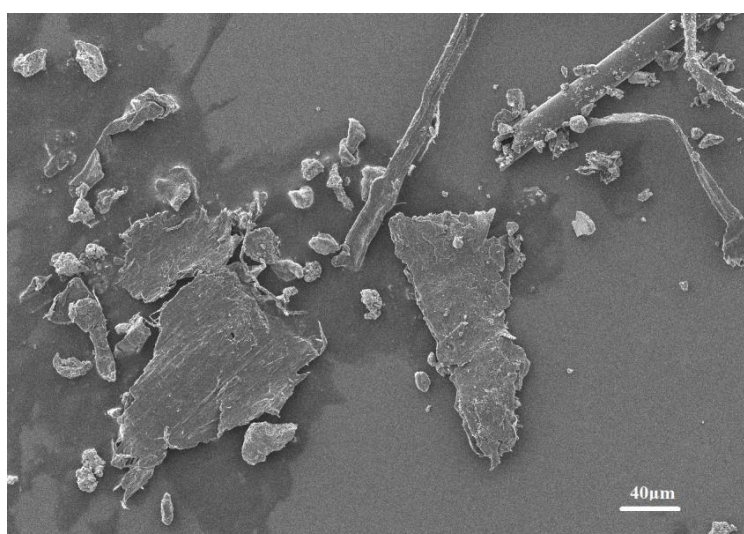


Gambar 4. 13 Struktur morfologi NK400 dengan perbesaran 1.000x

Gambar 4.13 menunjukkan struktur morfologi sampel NK400. Struktur lapisan NK400 tampak seperti bongkahan atau gumpalan. Lapisan yang terbentuk juga belum merata ditandai dengan gumpalan yang hanya berada ditengah substrat. Struktur morfologi gula kelapa (GKD400) ditunjukkan pada Gambar 4.14 Struktur GKD400 tampak seperti lempengan dengan lebar 75 μm . Struktur ini didapat akibat pemanasan nira yang dicampur air dan adanya gerakan pengadukan pada saat pembuatan gula merah. Lapisan yang terbentuk juga belum merata pada semua area substrat ditandai dengan struktur karbon yang hanya tampak ditengah substrat.

Ukuran partikel sebelumnya telah diukur menggunakan PSA. Berdasarkan hasil SEM, struktur morfologi NK400 menunjukkan struktur bongkahan dengan lebar sekitar 4 μm , sedangkan hasil pengujian PSA menunjukkan ukuran rata-rata partikel NK400 sebesar 0,39 μm . Namun distribusi ukuran partikel NK400 tidak seragam yaitu memiliki tiga puncak pada ukuran 0,186 μm , 0,65 μm , 4,81 μm yang menandakan bahwa ukurannya beragam karena strukturnya yang berbentuk bongkahan tak beraturan.

Hasil PSA menunjukkan ukuran rata-rata partikel GKD 400 adalah 0,3 μm sedangkan menurut hasil SEM ukurannya adalah 75 μm . Perbedaan ukuran yang didapat antara hasil PSA dan SEM dikarenakan struktur material yang berbentuk lempengan dimana panjang dan lebar memiliki rasio yang berbeda.



Gambar 4. 14 Struktur morfologi GKD400 dengan perbesaran 250x

Energy Dispersive X-ray spectroscopy (EDX) digunakan untuk mengidentifikasi kandungan unsur lapisan tipis karbon amorf. Kandungan unsur lapisan tipis GKD400 ditampilkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Data kandungan unsur GKD400		
Unsur	Persentase berat(%)	Persentase Atom(%)
C	24,23	31,78
O	61,84	60,91
Na	5,23	3,58
Mg	1,98	1,28
K	0,61	0,25
Ca	4,2	1,65
Fe	1,91	0,54

Berdasarkan hasil pengujian, kandungan unsur terbesar lapisan tipis GKD400 adalah oksigen dan karbon dengan persentase berat 61,48% dan 24,23%. Adanya unsur lain berupa K, Ca, Fe, Na dan Mg merupakan impuritas dengan persentase yang kecil. Impuritas terdapat di dalam lapisan karbon dikarenakan bahan dasar yang digunakan merupakan bahan alam yang mengandung zat hara yang terkandung didalam tanah. Dari data EDX diketahui bahwa terdapat kandungan Fe didalam lapisan karbon. Fe merupakan unsur besi yang nantinya juga mempengaruhi konduktivitas listrik material. Oksigen didalam lapisan karbon merupakan jumlahan total dari oksigen di dalam kaca (substrat) serta oksigen di dalam serbuk karbon. Oksigen didalam serbuk karbon dihasilkan akibat proses pemanasan dimana karbon berikatan dengan oksigen di udara bebas.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat di simpulkan:

1. Hasil pemanasan nira, legen dan gula kelapa pada masing-masing temperatur 400°C dan 600°C terbentuk fasa karbon amorf dengan beberapa puncak KCl sebagai impuritas.
2. Struktur hibrida yang terbentuk dalam lapisan karbon amorf terdiri atas hibrida sp^2 dan sp^3 dengan konsentrasi hibrida sp^2 didalam lapisan a-C berkisar antara 52% - 80%. Penggunaan temperatur pemanasan 600°C menghasilkan persentase sp^2 yang lebih besar dibanding 400°C.
3. Pengaruh lebar celah pita energi terhadap konduktivitas listrik yaitu semakin besar lebar celah pita energi maka konduktivitasnya. Lebar celah pita energi sampel NK400 dengan pelarut akuades sebesar 1,1 eV dengan konduktivitas listrik 3,7 S/m dan lebar celah pita energi sampel GK600 dengan pelarut DMSO sebesar 0,6 eV dengan konduktivitas listrik 6,39 S/m.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya yaitu dengan menggunakan temperatur pemanasan yang lebih tinggi agar perbedaan struktur maupun konduktivitas dan sifat optik yang didapat semakin signifikan. Juga dapat digunakan gas sebagai pengendali pada saat pemanasan agar tidak terjadi pengurangan massa yang terlalu besar.

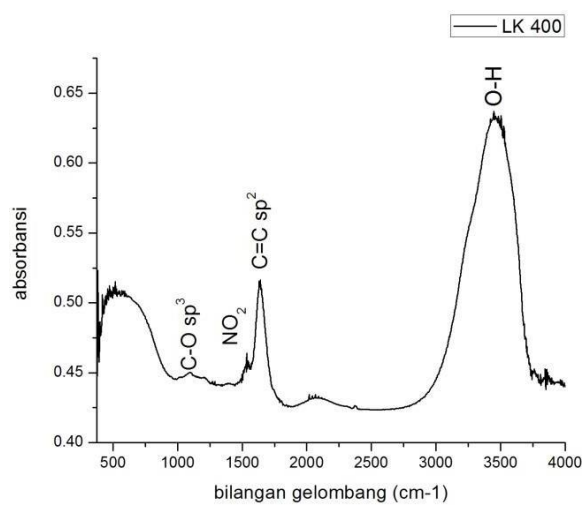
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

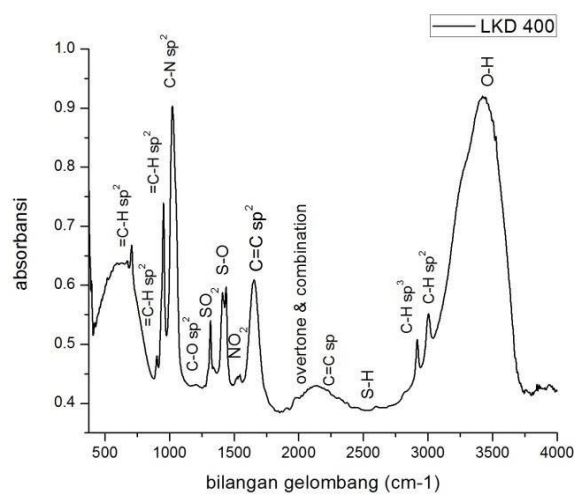
- Coleman, J.N., Khan, U., Blau, W.J., Gun'ko, Y.K., 2006. Small but strong: A review of the mechanical properties of carbon nanotube–polymer composites. *Carbon* 44, 1624–1652. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2006.02.038>
- Frank, D., Kurtz, S., 2007. High Efficiency Multijunction Solar Cells. *MRS Bull.* 32.
- Mangolini, F., Rose, F., Hilbert, J., Carpick, R.W., 2013. Thermally induced evolution of hydrogenated amorphous carbon. *Appl. Phys. Lett.* 103, 161605. <https://doi.org/10.1063/1.4826100>
- Mansour, A., 2011. Structural Analysis of Planar sp³ and sp² Films: Diamond-Like Carbon and Graphene Overlayers. King Abdullah University of Science and Technology, Thuwal, Kingdom of Saudi Arabia.
- Mikrajuddin, A., Khairurijal, 2010. Karakterisasi Nano material Teori, Penerapan, dan Pengolahan Data. CV Rejeki Putra.
- Mohagheghpour, E., Rajabi, M., Gholamipour, R., Lalarijani, M., Sheibani, S., 2016. Correlation study of structural, optical and electrical properties of amorphous carbon thin films prepared by ion beam sputtering deposition technique. *Appl. Surf. Sci.* 52–58.
- Ong, S.-E., Zhang, S., Du, H., Tan, G., 2007. Temperature effect on bonding structures of amorphous carbon containing more than 30 at.% silicon. *Diam. Relat. Mater.* 16, 1823–1827. <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2007.07.004>
- Pamungkas, D., 2017. SINTESIS KARBON AMORF BERBASIS BIO PRODUCT DEGAN METODE PEMANASAN. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Robertson, J., 2002. Diamond-like emorphous carbon. Elsevier Science B V.
- Robertson, J., 2001. Ultrathin carbon coatings for magnetic storage technology. *Thin Solid Films* 383, 81–88.
- Rumokoi, M., 1990. Manfaat tanaman aren (*Arenga pinnata* Merr). Balai Penelitian Kelapa, Manado, pp. 21–28.
- Samarajeewa, U., 1985. Effect of Sodium Metabisulphide on Ethanol production in Coconut Inflorescence Sap. 1985 11–17.
- Skoog, D.A., Holler, F.J., A Nieman, T., 1988. Principle of Instrumental Analysis. Harcourt Brace College Publishers.
- Song Lin, K., Jen Mai, Y., Rung Li, S., Wei Shu, C., Hung Wang, C., 2012. Characterization and Hydrogen Storage of Surface-Modified Multiwalled Carbon Nanotubes for Fuel Cell Application. Hindawi Publ. Corp.
- Sze, S., 2001. Semiconductor Devices. John Willey and Sons, Inc, America.
- Takahashi, K., Konagai, M., 1986. Amorpous Silicon Solar Cell. North Oxf. Acad.
- Takayama, A., 2015. High-Resolution Spin-Resolved Photoemission Spectrometer and the Rashba Effect in Bismuth Thin Films,. Springer Jpn.
- Tarwiyah, K., 2001. Minyak Kelapa. Dewan Ilmu Pengetah. Teknol. Dan Ind. Sumat. Barat.
- Tenda, E., Kaumanuang, J., 2007. Keragaman Fenotipik Kelapa Dalam di Kabupaten Pacitan, Tulungagung dan Lumajang. *Bul. Plasma* 32 22–29.

- Y.S, P., H.J, C., B, H., 2007. Characteristics of conductive amorphous carbon(DLC) films prepared by using the magnetron sputtering method. J KoreanPhys 1119–1123.
- Zhou, X., Arakawa, S., Tunmee, S., Komatsu, K., Kanda, K., 2017. Structural analysis of amorphous carbon films by BEMA theory based on spectroscopic ellipsometry measurement. Elsevier BV Diamond & Related Materials, 46–59.

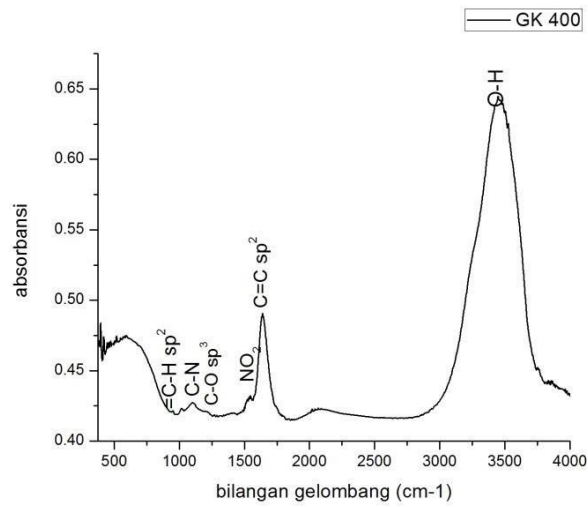
LAMPIRAN



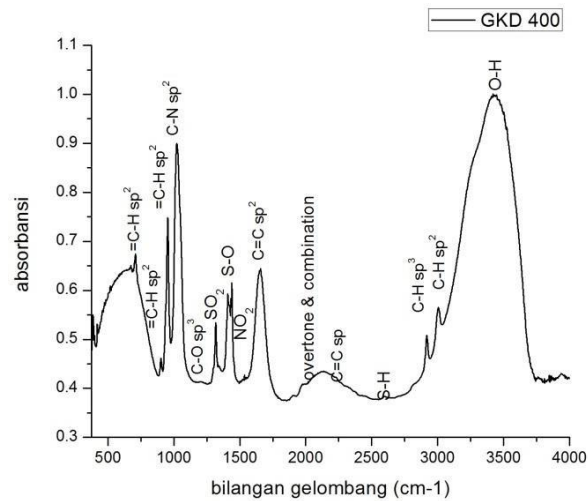
Gambar 1 Spektra inframerah LK400



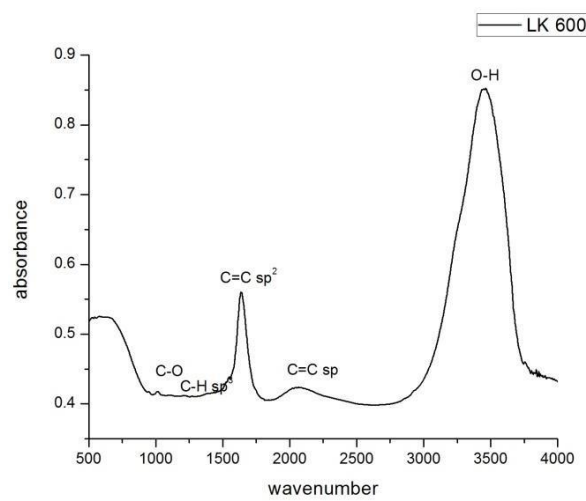
Gambar 2 Spektra inframerah LKD400



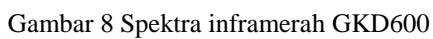
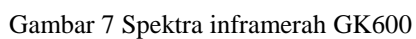
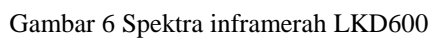
Gambar 3 Spektra inframerah GK400

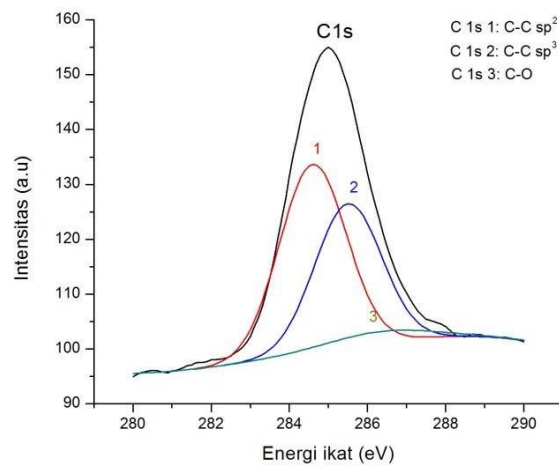


Gambar 4 Spektra inframerah GK400

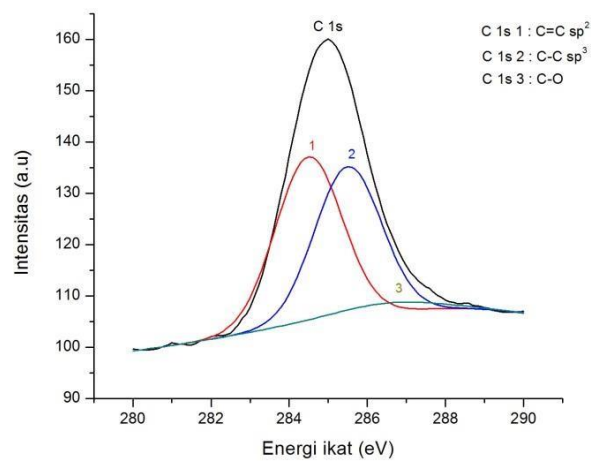


Gambar 5 Spektra inframerah LK600

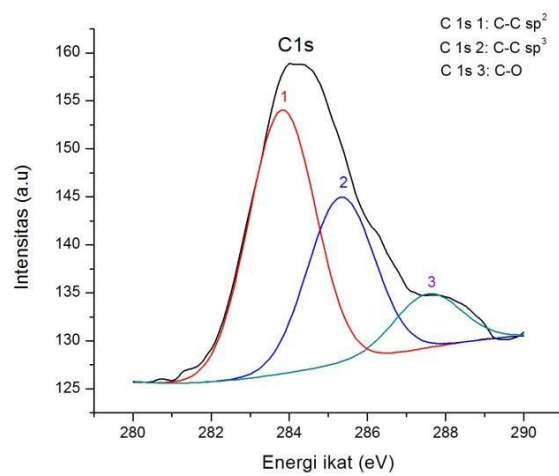




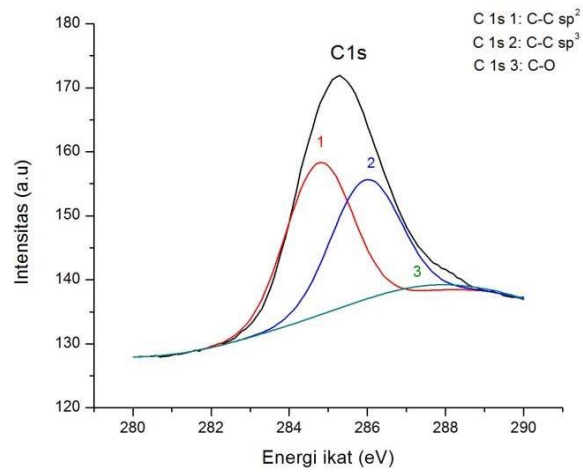
Gambar 9 Hasil fitting puncak C1s LK400



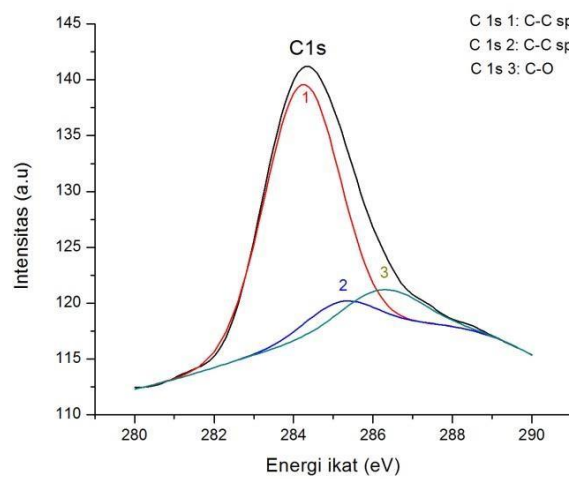
Gambar 10 Hasil fitting puncak C1s LKD400



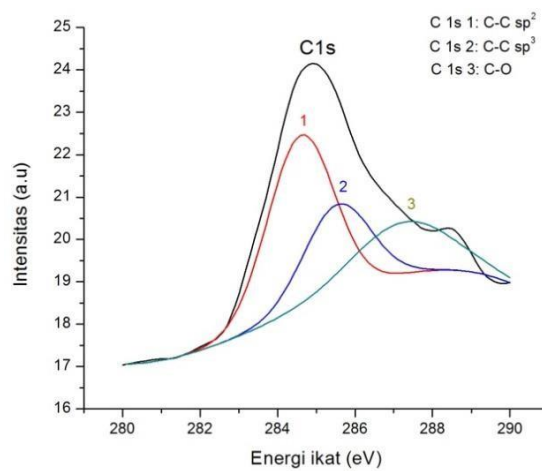
Gambar 11 Hasil fitting puncak C1s GK400



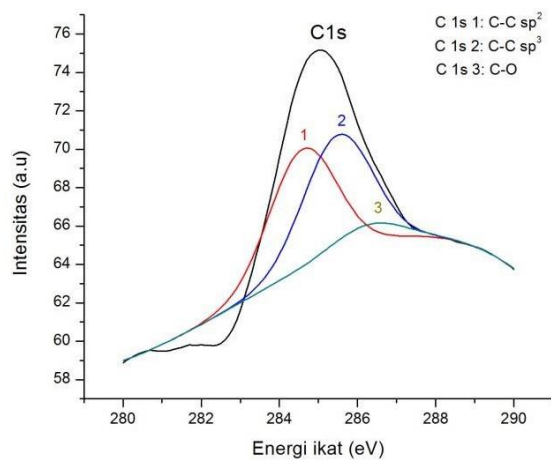
Gambar 12 Hasil fitting puncak C1s GKD400



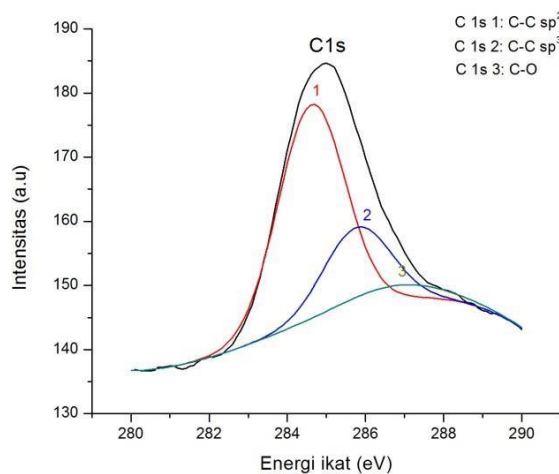
Gambar 13 Hasil fitting puncak C1s NK600



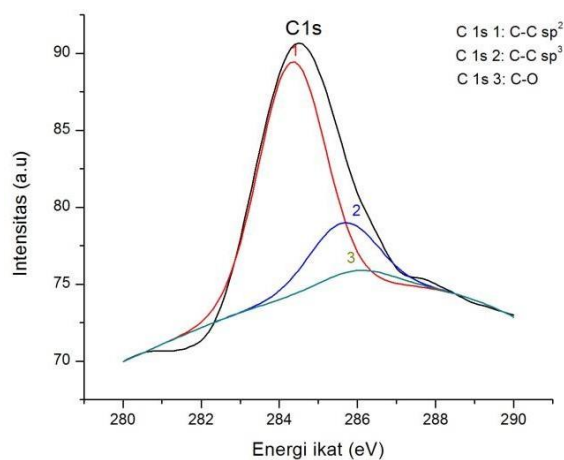
Gambar 14 Hasil fitting puncak C1s NKD600



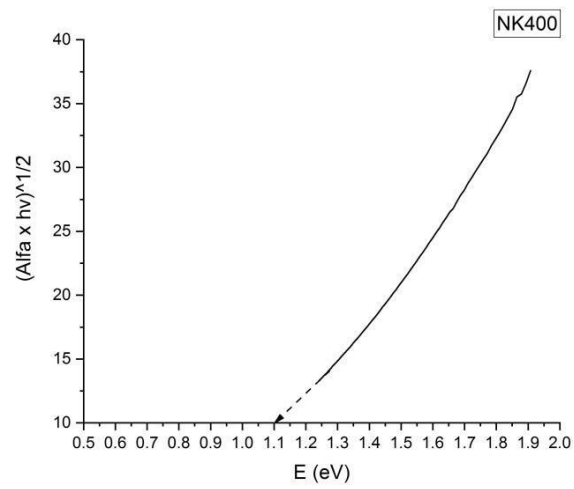
Gambar 15 Hasil fitting puncak C1s LK600



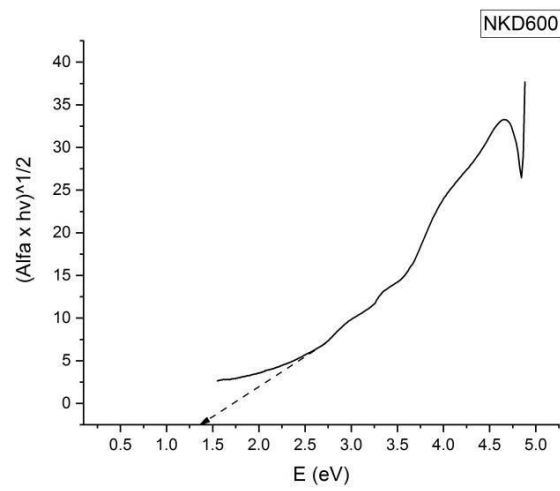
Gambar 16 Hasil fitting puncak C1s LKD600



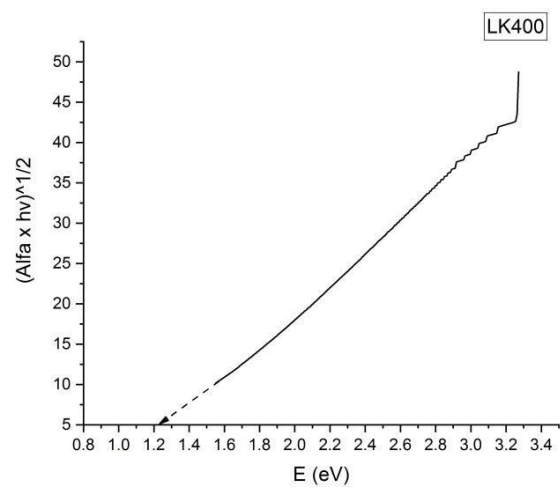
Gambar 17 Hasil fitting puncak C1s GKD600



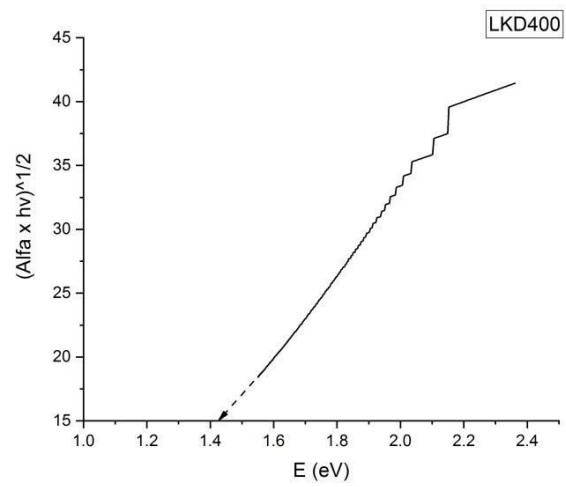
Gambar 18 Spektrum UV-VIS NK400



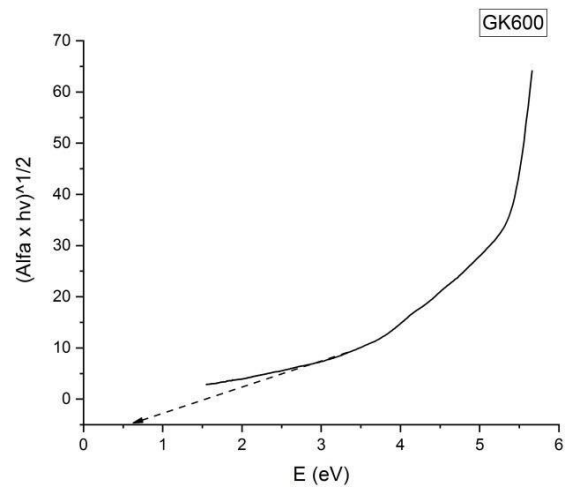
Gambar 19 Spektrum UV-VIS NKD600



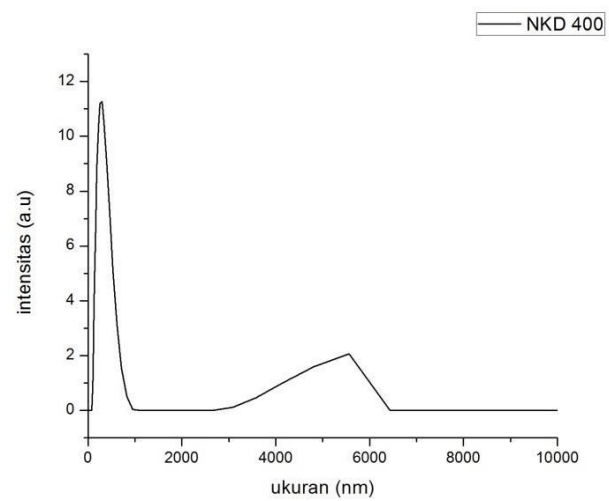
Gambar 20 Spektrum UV-VIS LK400



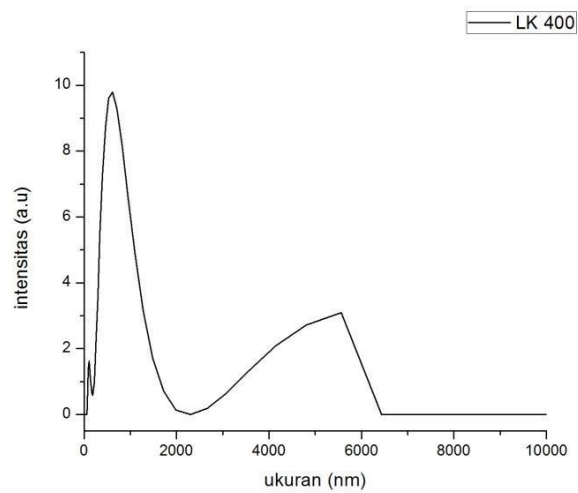
Gambar 21 Spektrum UV-VIS LKD400



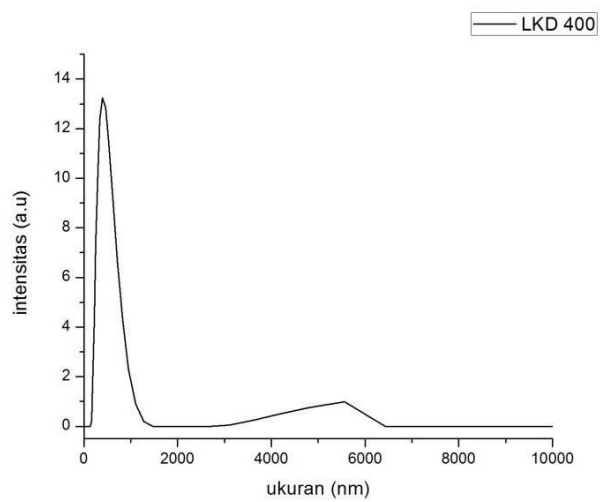
Gambar 22 Spektrum UV-VIS GK400



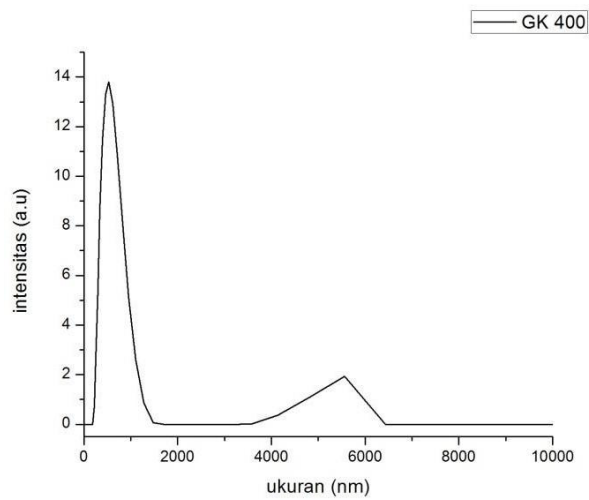
Gambar 23 Distribusi ukuran NKD400



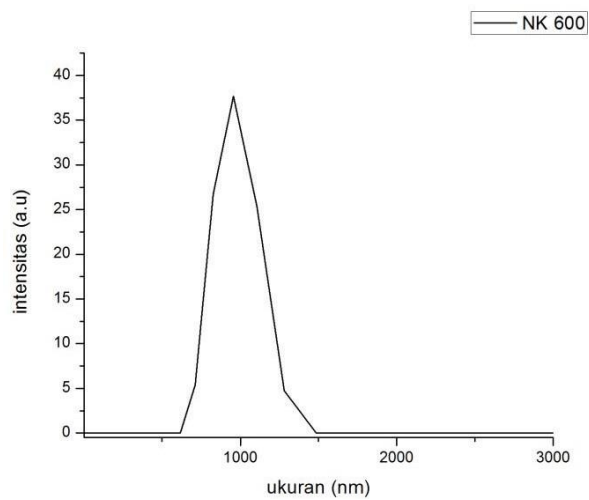
Gambar 24 Distribusi ukuran LK400



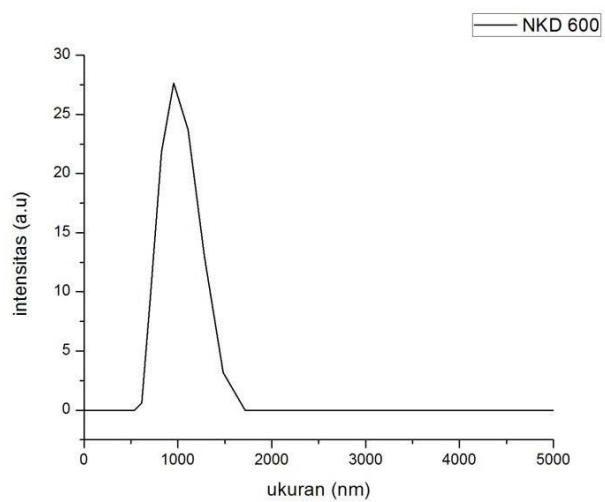
Gambar 25 Distribusi ukuran LKD400



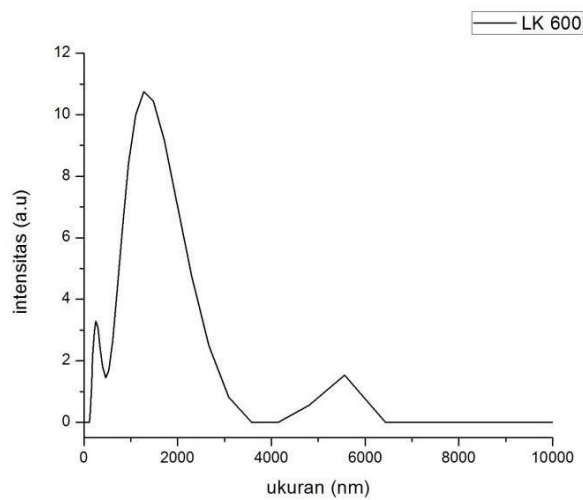
Gambar 26 Distribusi ukuran GK400



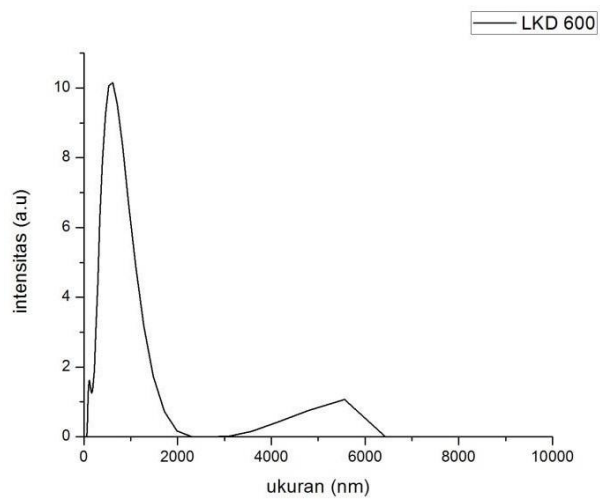
Gambar 27 Distribusi ukuran NK600



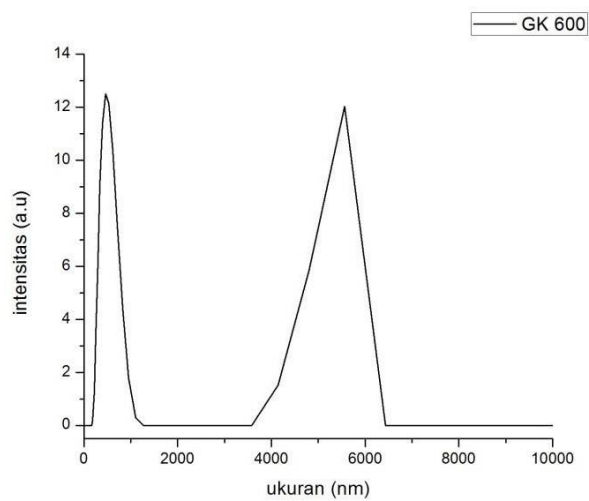
Gambar 28 Distribusi ukuran NKD600



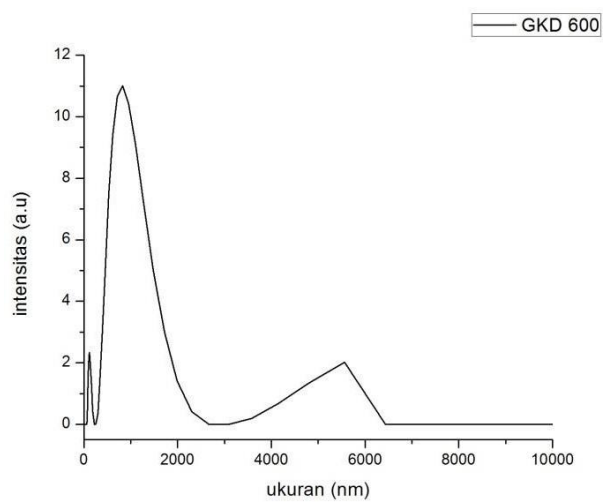
Gambar 29 Distribusi ukuran LK600



Gambar 30 Distribusi ukuran LKD600



Gambar 31 Distribusi ukuran GK600



Gambar 32 Distribusi ukuran GKD60

BIOGRAFI PENULIS



Penulis merupakan kelahiran Gresik, 24 Juni 1995 bernama Diajeng Indraswary Pamungkas. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Mukhlison dan Ibu Mulyati. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Petrokimia Gresik, SMPN 3 Gresik dan SMAN 1 Gresik. Setelah lulus dari SMA tahun 2013, Penulis mengikuti SNMPTN undangan dan diterima di prodi S1 jurusan Fisika FMIPA-ITS. Kemudian pada tahun 2017 mengikuti pendaftaran S2 di jurusan Fisika FIA-ITS melalui program beasiswa *Fresh Graduate* dan terdaftar dengan NRP 01111750010011.

Penulis masuk ke bidang minat fisika material sejak S1 kemudian dilanjutkan pada jenjang S2 dengan topik penelitian bahan alam yaitu karbon dibawah bimbingan Prof. Dr. Darminto. Selama menjalani kuliah penulis juga memiliki kegiatan selingan berupa les privat di daerah sekitar ITS. Penulis juga bergabung dengan organisasi Ulul Albab Remaja Masjid SMAN 1 Gresik. Penulis dapat dihubungi melalui email diajengindraswary75@gmail.com.